



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Allar Erman

**PIKSEKAITSE PROJEKTEERIMISE
NÕUDED JA SEADMED**

**NORMATIVES AND EQUIPMENT FOR
LIGHTNING PROTECTION**

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: nooremteadur Erkki Jõgi, *MSc*

Tartu 2018

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Fr.R.Kreutzwaldi 1, Tartu 51006			
Autor: Allar Erman		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Piksekaitse projekteerimise nõuded ja seadmed			
Lehekülgi: 75	Jooniseid: 13	Tabeleid: 22	Lisasid: 7
Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond: 4.17. Energeetikaalased uuringud			
CERCS-i kood: T140 Energeetika			
Juhendaja(d): nooremteadur Erkki Jõgi; <i>MSc</i>			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2018			
<p>Välgulöök ehitisse või ehitise lähedale on ohtlik ehitistele ja inimestele. Kaitseks välgulöögi ohtlike mõjude eest kasutatakse erinevaid kaitsemeetmeid. Et kaitsemeetmed oleksid efektiivsed, peavad need vastama teatud nõuetele. Õigete kaitsemeetmete valik on väga oluline. Käesolev töö annab ülevaate piksekaitsemeetmete valimisest, projekteerimisest ja paigaldamisest. Töös tutvustatakse piksekaitset käsitlevaid Euroopa standardeid ja kohalikke normatiivakte ning piksekaitse vajaduse määramise ja hindamise protseduure. Kirjeldatakse piksekaitsesüsteemi projekteerimise protsessi ja antakse ülevaade piksekaitsesüsteemis kasutatavatest seadmetest, nende paigaldusviisidest ja hooldamisest.</p>			
Märksõnad: välgulöök, kaitsemeetmed, projekteerimine, piksekaitsesüsteem			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Fr.R.Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor’s Thesis	
Author: Allar Erman		Curriculum: Engineering	
Title: Normatives and Equipment for Lightning Protection			
Pages: 75	Figures: 13	Tables: 22	Appendixes: 7
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering Field of research: 4.17. Energetic Research (CERCS) code: T140 Energy research Supervisors: Junior Research Fellow Erkki Jõgi; <i>MSc</i> Place and date: Tartu, 2018			
A lightning strike into a building or near a building is dangerous to buildings and people. For protection against the dangerous effects of lightning strikes, different protection measures are used. To ensure that protective measures are effective, they must meet certain requirements. Choosing the right protection measures is very important. This thesis gives an overview of the selection, design and installation of lightning protection measures. The thesis introduces European standards and local regulations which deal with lightning protection and the procedures for determining and assessing the need for lightning protection. The lightning protection system design process is described and an overview of the equipment used in the lightning protection system, its installation methods and maintenance.			
Keywords: lightning strike, protective measures, design, lightning protection system			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. PIKSEKAITSESÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE	4
1.1. Piksekaitset reguleerivad standardid ja normid	4
1.2. Välgu teke ja tunnussuurused	7
1.3. Välgu tekitatud vigastused ja kahju	12
1.4. Piksekaitse vajaduse määramine	16
1.4.1. Piksekaitsemeetmed	16
1.4.2. Piksekaitse tasemed ja klassid	17
1.4.3. Piksekaitse paigaldamise kohustusega hooned	20
1.4.4. Riskianalüüsi meetodika	22
1.5. Piksekaitsesüsteemi projekteerimise üldpõhimõtted	26
1.6. Piksekaitsesüsteemi projekteerimiseks kasutatav tarkvara	27
2. PIKSEKAITSESÜSTEEMI KOMPONENTIDE VALIK JA PAIGALDAMINE	29
2.1. Piksekaitse välissüsteem	29
2.1.1. Üldnõuded piksekaitse välissüsteemi komponentidele	30
2.1.2. Välgupüüdurite süsteem	32
2.1.3. Allaviikude süsteem	39
2.1.4. Maandurite süsteem	42
2.1.5. Kaitsemeetmed puute- ja sammupingete vastu	46
2.2. Piksekaitse sisesüsteem	46
2.2.1. Välgupotentsiaaliühtlustus	47
2.2.2. Piksekaitse välissüsteemide elektriisolatsioon	51
2.2.3. Elektri- ja elektroonikasüsteemide kaitse üldpõhimõtted	52
3. PIKSEKAITSESÜSTEEMI KORRASHOID	56
3.1. Piksekaitsesüsteemi kontroll	56
3.2. Piksekaitsesüsteemi hooldus	59
3.3. Kontrolli ja hooldustoimingute dokumenteerimine	61
KOKKUVÕTE	62
KASUTATUD KIRJANDUS	63
LISAD	64
Lisa 1. Allasuunatud välgu võimalikud komponendid	65
Lisa 2. Ülesuunatud välgu võimalikud komponendid	66
Lisa 3. Piksekaitsesüsteemi projekteerimise plokskeem	67
Lisa 4. Eraldamata juhtidest moodustatud võrgu kaitsetsoon	68
Lisa 5. Eraldatud juhtidest moodustatud võrgu kaitsetsoon	69
Lisa 6. Välgu elektromagnetilise impulsi kaitsemeetmed	70
Lisa 7. Piksekaitsesüsteemi kontrolli akt	72
LIHTLITSENTS	75

SISSEJUHATUS

Äike ehk pikne on elektriline ilmastikunähtus, mis on peamiselt tuntud äikesega kaasnevate välkude poolest. Välku saab kirjeldada kui ülisuurt elektrilahendust, mis leiab aset atmosfääris või atmosfääri ja maa vahel. Völgulöögi mõjud on ohtlikud nii inimestele kui ehitistele. Völgulööki pole võimalik ära hoida, kuid völgulöögi mõjude eest saab kaitsta nii ennast kui oma vara, kasutades nõuetekohaseid piksekaitsemeetmeid. Selle tõttu on piksekaitse vajaduse hindamine ning õigete kaitsemeetmete valimine väga oluline.

Kaitsemeetmete valimisel ja rakendamisel peab juhinduma asjakohastest normatiivaktidest ja standarditest, kuna sellisel viisil on tagatud piksekaitsemeetmete efektiivsus.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on anda ülevaade hetkel kehtivatest piksekaitset käsitlevatest standarditest, määrustest ning piksekaitsesüsteemis kasutatavatest seadmetest.

Eesmärgi saavutamiseks:

- 1) töötatakse läbi standardid ja õigusaktid;
- 2) tutvustatakse piksekaitse vajaduse hindamise protseduure;
- 3) kirjeldatakse piksekaitsesüsteemi projekteerimise protsessi ja
- 4) antakse ülevaade seadmetest, nende paigaldusviisidest ja hooldamisest.

1. PIKSEKAITSESÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

1.1. Piksekaitset reguleerivad standardid ja normid

Piksekaitset käsitleb Rahvusvahelise Elektrotehnikakomisjoni *IEC* (*International Electrotechnical Commission*) tehnilise komitee TC 81 „Piksekaitse“ poolt väljatöötatud, Euroopa Elektrotehnika Standardimiskomitee *CENELEC* (*European Committee for Electrotechnical Standardization*) poolt Euroopa standardina vastuvõetud ja Eesti Standardikeskuse poolt ülevõetud standardisari EVS-EN 62305 „Piksekaitse“.

Standardisari koosneb neljast osast:

1. EVS-EN 62305-1 „Piksekaitse. Osa 1: Üldpõhimõtted“;
2. EVS-EN 62305-2 „Piksekaitse. Osa 2: Riskianalüüs“;
3. EVS-EN 62305-3 „Piksekaitse. Osa 3: Ehitistele tekitatavad füüsilised kahjustused ja oht elule“;
4. EVS-EN 62305-4 „Piksekaitse. Osa 4: Ehitiste elektri- ja elektroonikasüsteemid“.

Standardisarja EN 62305 avaldamist Euroopa standardina alustati aastal 2006. Aastal 2007 andis Eesti Standardikeskus esimestena välja eesti keelde tõlgituna standardisarja esimese ja kolmanda osa. Teine osa avaldati eesti keeles aastal 2008 ning neljas osa aastal 2009. Hetkel kehtivad redaktsioonid on eestikeelsetena välja antud aastatel 2011 (osad 1, 3 ja 4) ja 2013 (osa 2).

Standardi esimene osa toob ära erinevad terminid ja nende määratlused ning esitab üldpõhimõtted, mida peab ehitiste, ehitiste seadmestiku ja sisaldise, ehitistega seotud tehnovõrkude ning inimeste piksekaitsel järgima. Väljaspool ehitist asuvate elektri- ja sideliinide ning torustike piksekaitsel standard ei käsitle. Käsitusallasse ei kuulu ka raudteesüsteemide, sõidukite, laevade, lennukite, merre ehitatud rajatiste, maa-aluste kõrgrõhutorustike ja tuuleelektrijaamade piksekaitse. [1]

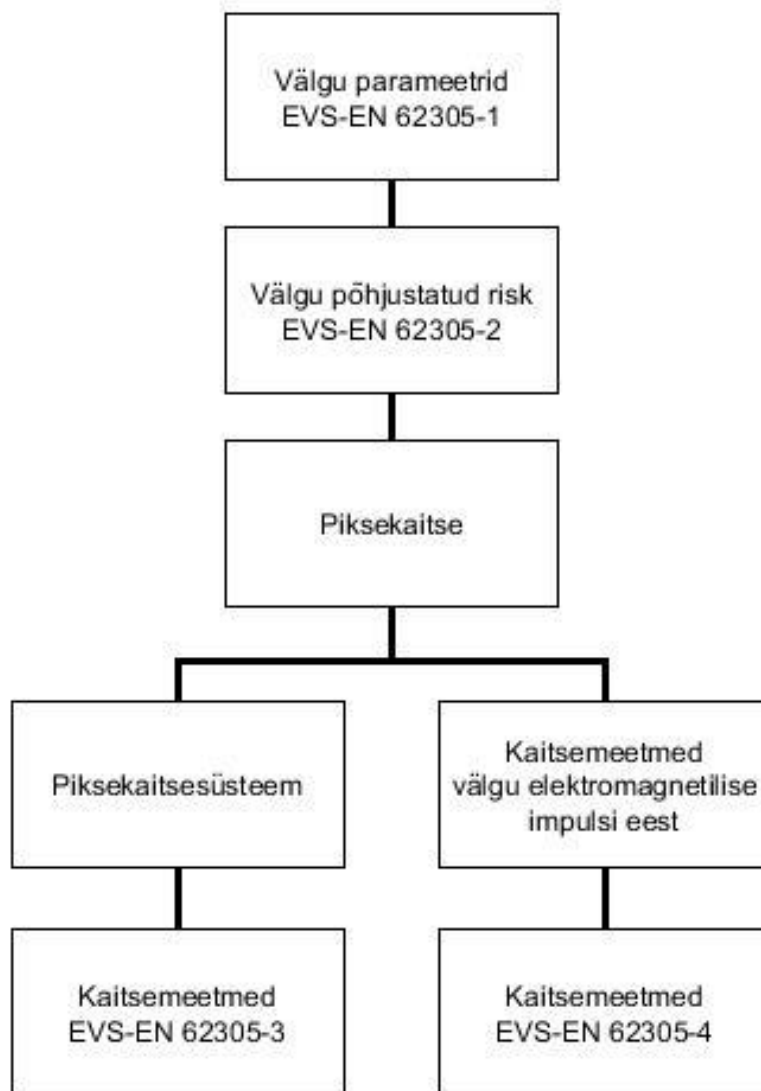
Standardi teine osa keskendub ehitistele välgulöökide poolt põhjustatud riski hindamisele. Esitatakse sellise riski hindamise meetodika ning võrdlusprotseduur valitud vastuvõetava riski tasemega. Riskianalüüs võimaldab valida sobivad piksekaitsemeetmed, mida rakendades väheneb risk vastuvõetava tasemeni, ehk ei ületa vastuvõetava riski suurimat väärtust. [2]

Standardi kolmandas osas esitatakse nõuded ehitiste kaitseks füüsilise kahjustamise vastu piksekaitsesüsteemi abil ning samuti elusolendite traumade vältimiseks piksekaitsesüsteemi lähedal puute- ning sammupingetega. Standardi antud osa on rakendatav ehitiste piksekaitsesüsteemide projekteerimisel, paigaldamisel, kontrollimisel ja hooldusel, seda ilma piiranguteta ehitiste kõrgusele, ning kaitsemeetmete valimiseks elusolendite puute- ja sammupingetest tingitud traumade vastu. [3]

Standardi neljas osa annab informatsiooni elektri- ja elektroonikasüsteemide kaitse projekteerimiseks, paigaldamiseks, kontrollimiseks, hooldamiseks ja katsetamiseks, eesmärgiga minimeerida välgu elektromagnetilise impulsi poolt põhjustatud püsivate rikete riski ehitise sees. Kaitset välgu poolt tekitatud elektromagnetiliste häirete vastu, mis võib põhjustada elektroonikasüsteemide väärtalitlust, standard ei käsitle. Standard annab juhtnöörid elektri- ja elektroonikasüsteemide ning kaitsemeetmete projekteerija omavaheliseks koostööks, et saavutada optimaalne kaitse efektiivsus. [4]

Piksekaitses nõuetekohasuse tagamiseks tuleb kõiki eelnimetatud standardites toodud piksekaitsemeetmeid käsitleda ühtse tervikuna. Standardisarja EVS-EN 62305 esimese osa „Üldpõhimõtted“ kohaselt on otstarbekas vaadelda piksekaitsemeetmete projekteerimisele, paigaldamisele ning hooldusele seatud kriteeriume kahe eraldi grupina, nagu on näidatud standardisarja erinevate osade vahelisi seoseid illustreerival joonisel 1.1.

Esimesse gruppi kuuluvad kaitsemeetmed, mille eesmärk on minimeerida ehitiste vigastusi ja ohtu inimestele. Selliseid kaitsemeetmeid käsitleb standard EVS-EN 62305-3. Teise grupi moodustavad ehitises paiknevate elektri- ja elektroonikasüsteemide kahjustusi vähendavad kaitsemeetmed, mis on toodud standardis EVS-EN 62305-4. [1]



Joonis 1.1. Standardisarja EVS-EN 62305 osade vahelised seosed [1].

Standardisari EVS-EN 62305 on mahukas ja mitmekülgne, sätestades nõudeid mitte ainult piksekaitsesüsteemi projekteerijatele ja paigaldajatele, vaid ka piksekaitsesüsteemi kontrollijatele ning piksekaitsesüsteemi komponentide tootjatele ja katsetajatele. Detailsed nõuded välise piksekaitsesüsteemi komponentidele ja nende katsetamisele sisalduvad standardisarjas EVS-EN 62561 „*Lightning Protection System Components*“, mille erinevate osade värskemad väljaanded on ilmunud aastatel 2017 ja 2018. Eesti keelde tõlgituna antud standardisarja välja antud ei ole.

Piksekaitsesüsteemi komponentide joonistel kujutamise aluseks on Euroopa Elektrotehnika Standardimiskomitee *CENELEC* tehniline aruanne CLC/TR-50469:2005 „Piksekaitse-

süsteemid. Sümbolid“. Antud aruande tundmine on oluline nii piksekaitsesüsteemi projekteerijale kui paigaldajale, kuna sätestab piksekaitsesüsteemide joonistel kasutatavad tingmärgid, et joonised oleksid vormistuselt korrektsed ja kõikidele osapooltele üheselt mõistetavad.

Projekteerides kaitsemeetmeid elektri- ja elektroonikasüsteemide kaitseks, on lisaks põhistandardile EVS-EN 62305-4 veel teisigi standardeid, mis antud valdkonda reguleerivad. Siinkohal on toodud mõned neist:

- 1) EVS-HD 60364-4-443:2016 „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-44: Kaitseviisid. Kaitse pingehäiringute ja elektromagnetiliste häiringute eest. Jaotis 443: Kaitse transientsete pikse- ja lülitusliigpingete eest“;
- 2) EVS-HD 60364-4-444:2010 „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-444: Kaitseviisid. Kaitse pingehäiringute ja elektromagnetiliste häiringute eest“;
- 3) EVS-HD 60364-5-534:2016 „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-53: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Turvalahutamine, lülitamine ja juhtimine. Jaotis 534: Transientliigpingekaitsevahendid“;
- 4) EVS-EN 60099 „Liigpingepiirikud“.

Piksekaitses vajaduse ja vastavate kaitsemeetmete valikul saab lisaks standardi EVS-EN 62305-2 kohasele riskianalüüsile juhinduda ka riigis kehtivast seadusandlusest. Teatud juhtudel on seadusandja määranud piksekaitses kohustuslikuks ilma, et oleks vaja riski hinnata. Eestis kehtib selleks otstarbeks siseministri määrus nr 17 „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele“ (vastu võetud 30.03.2017), milles on kehtestatud piksekaitses paigaldamise kohustusega hooned sõltuvalt hoone kasutusviisist ja tuleohutusklassist. Samuti on ära määratud, millise kaitseklassiga piksekaitsesüsteem tuleb vastavalt ehitise ohtlikkuse astmele paigaldada.

1.2. Välgu teke ja tunnussuurused

Välg on lihtsamalt sõnastades ülisuur elektrilahendus atmosfääris või atmosfääri ja maa vahel. Välgu arengu algfaasis toimib õhk isolaatorina pilvesiseste ja pilve ja maapinna vaheliste positiivsete ja negatiivsete laengute vahel. Edasi arenedes, kui laengute erinevus

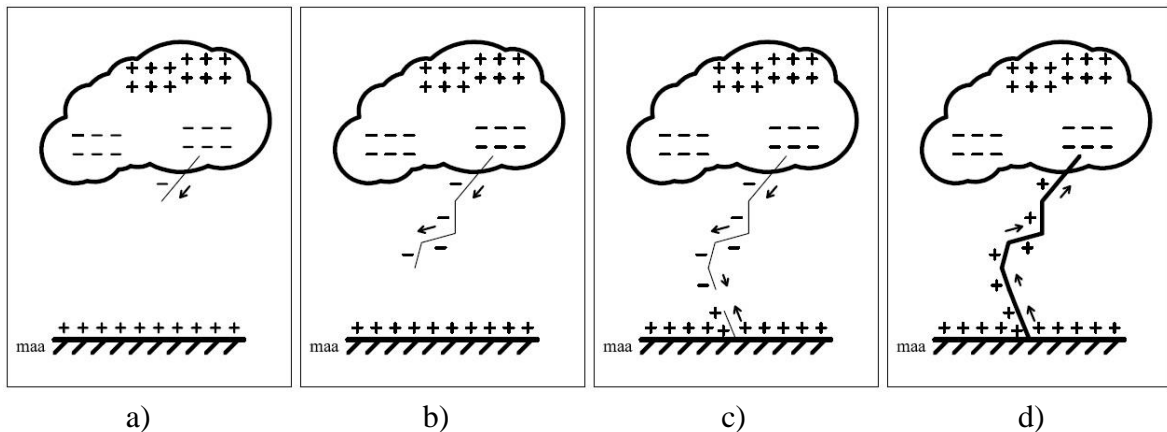
muutub liiga suureks, õhu isoleeriv võime kaob ning toimuvat kiiret elektrilahendust teataksegi välgulöögina.

Välgu tekkeks on vajalikud suured elektriväljad ning suurte elektriväljade tekkimiseks on omakorda vaja suuri laengukogumikke. Suurte laengukogumike tekkimise eelduseks on laetud osakesed atmosfääris ja tõusvad õhuvoolud. Tõusvad õhuvoolud tekivad sooja ja külma õhu frondi kokkupuutekohas, kus külm õhk, tungides sooja õhu alla, surub sooja õhu üles. Selle tagajärjeks on eriti massiivsete pilvede teke. Pilve alumine pind asub maapinnast tavaliselt mõnesaja meetri kõrgusel, samas pilve tipud võivad kohati ulatuda 8 kuni 12 kilomeetri kõrgusele. Tingimused sellise pilve ala- ja ülaosas on väga erinevad. Pilve alaosas on temperatuur plusspoolel ning vesi on selles piiskade kujul. Pilve tipus võib aga temperatuur langeda lausa 50-60 külmakraadini ning seal tekivad jääkristallid ja lumekruubid. Maapinna ja ionosfääri vahelises elektriväljas need osakesed polariseeruvad. Põrgates kokku, lumehelbed laaduvad negatiivselt ning jääkristallid positiivselt. Kergemad jääkristallid liiguvad tõusvas õhuvoolus üles ja raskemad lumehelbed alla, tekitades sedasi pilve ülaosas positiivsed ja pilve alaosas negatiivsed laengukogumikud. Kui laengukogumik kasvab, kasvab ka teda ümbritsev elektriväli. Kui elektriväli ületab kriitilise piiri, hakkab arenema elektrilahenduskanal ehk striimer, ning tekib välg. Välgud võivad tekkida pilve enda sees, erinevate pilvede vahel või pilve ja maa vahel. [5]

Piksekaitse seisukohalt on huvipakkuvad ainult viimased, pilve ja maa vahelised välgud, mis moodustavad umbes veerandi kõikidest välgudest maailmas ning meie laiuskraadil isegi veidi rohkem. Striimer on välgu esimeseks staadiumiks. Lahenduskanali areng on astmeline, koosnedes mõnekümne kuni mõnesaja meetri pikkustest lõikudest. Lahenduskanal võib ka hargneda. Sellist astmelist striimerit nimetatakse liidriks.[5]

Välgu põhitüüpe on kaks – allasuunatud ja ülessuunatud. Allasuunatud välgud, mille algatajaks on pilvest maa poole suunatud liider, on tüüpilised tasastel aladel ja madalamate ehitiste puhul. Ülessuunatud välgud, mille algatab maandatud ehitisest pilve poole suunatud liider, on domineerivad esiletõusvate ja kõrgemate ehitiste korral, kuna ehitise piisava kõrguse juures füüsikalised tingimused muutuvad ning välgu otselöök on tõenäolisem. [1]

Tüüpiline allasuunatud välgu lahenduskanali areng on esitatud joonisel 1.2. Pilvest saab alguse negatiivse laenguga striimer (a), mis hakkab astmeliselt arenema liidriks (b). Mida lähemale liider maapinnale jõuab, seda tugevamini tõmbab ta enda poole positiivseid laenguid mis paiknevad maapinnal (c). Kui liider jõuab piisavalt lähedale talle vastu arenenud positiivsele striimerile, tekib võimas lahenduskanal ehk pealahendus, ning vool kulgeb mööda moodustunud kanalit maast pilve (d).

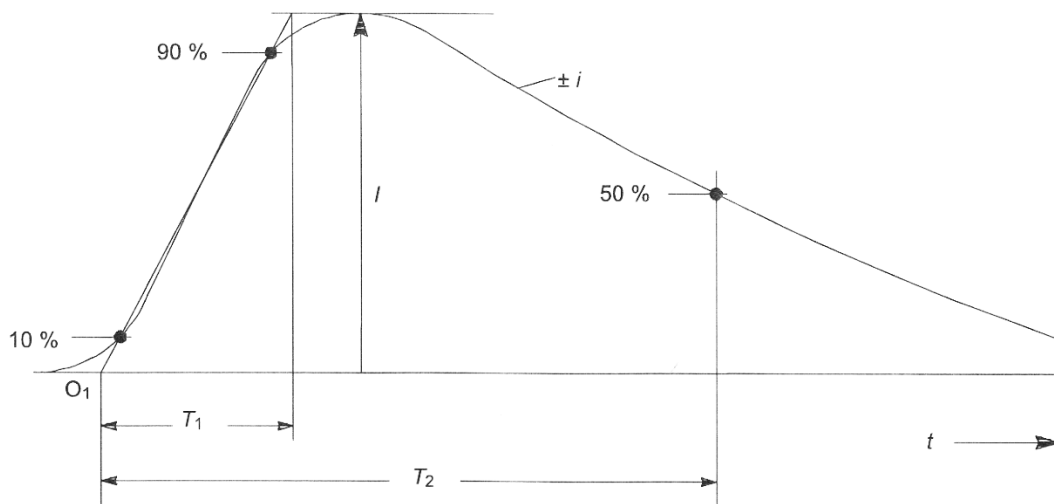


Joonis 1.2. Allasuunatud välgu lahenduskanali areng. a) striimer, b) liidri areng, c) liider läheneb maale, d) pealahendus

Välg võib koosneda kas ühest või mitmest erinevast välgulöögist. Välgu komponentidena on eristatavad kaks peamist välgulöögi tüüpi [1]:

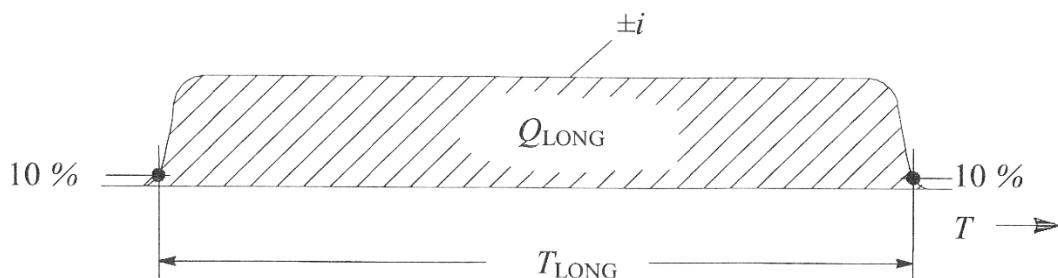
- 1) lühikesed impulssvälgud kestusega alla 2 ms ja
- 2) pikad välgulöögid, mille kestus on pikem kui 2 ms.

Välgu tähtsaimaks parameetriks on välgu vool. Allasuunatud välkude põhikomponendiks oleva lühikese impulssvälgu põhiparameetrid on toodud joonisel 1.3.



Joonis 1.3. Voolu impulsi parameetrite määratlused ($T_2 < 2 \text{ ms}$) [1]. O_1 – virtuaalne algus, I – voolu tippväärtus, T_1 – frondi kestus, T_2 – poolväärtusaeg

Ülessuunatud välgude puhul on põhikomponendiks esmane pikk välgulöök koos kuni mõnekümne katva impulsiga või ilma nendeta. Pika välgulöögi põhiparameetrid on näidatud joonisel 1.4.



Joonis 1.4. Pika kestusega välgulöögi parameetrite määratlused ($2 \text{ ms} < T_{LONG} < 1 \text{ s}$) [1]. T_{LONG} – kestus, Q_{LONG} – pika välgulöögi laeng

Välgulöökide täiendav diferentseerimine tuleneb nende polaarsusest (negatiivne või positiivne) ning nende positsioonist välgu kestel (esmane, edasine, kattev). [1]

Välgude võimalikke komponente allasuunatud välgude korral on kujutatud käesoleva töö lisas 1 ning ülessuunatud välgude komponente lisas 2.

Ülessuunatud välkude korral on kõik voolu impulsi parameetrid väiksemad kui allasuunatud välkude korral. Ülessuunatud välgu pika välgulöögi suurim laeng on veel kindlaks tegemata, seetõttu arvestatakse et ülessuunatud välkude välguvoolu parameetrid on võrdväärsed allasuunatud välkudele antud suurimate väärtustega. [1]

Välgu tähtsamateks parameetriteks loetakse välguvoolu suurimat väärtust, välguvoolu impulsi kuju, eriti just impulsi tõusu kiirust ehk frondi järskust, ning välgu tihedust ehk välgu esinemissagedust. [5]

Vastavalt Suurte Elektrisüsteemide Rahvusvahelise Nõukogu *CIGRE* (*International Council on Large Electric Systems*) ja Rahvusvahelise Elektrotehnikakomisjoni *IEC* tehnilise komitee TC 81 „Piksekaitse“ soovitudele on välgu keskmiste parameetritena kasutusel tabelis 1.1 esitatud keskmised väärtused. Tabelis on toodud ka välgu keskmiste väärtuste ligikaudne statistiline jaotus tõenäosustega 50, 95 ja 5 protsenti. Keskmised parameetrid on tõenäosusega 50 %. Väärtused, mis on esitatud tõenäosustega 95 % ja 5 %, annavad vaadeldava parameetri tõenäosuslikule jaotusele kaks punkti – näitena voolu tõus on suurem kui 9 kA/μs tõenäosusega 95 % ning ainult 5 % tõenäosusega ületab väärtust 65 kA/μs. [5]

Tabel 1.1. Välgulahenduse põhiparameetrid ja nende esinemise tõenäosus [5]

Voolu suurim väärtus kA	Voolu tõus kA/μs	Lahenduste arv kanalis	Kogukestus s	Tõenäosus %
7	9	1	0,001	95
33	24	2	0,01	50
85	65	6	1,1	5

Välkude tihedus, mida tähistatakse N_g , on defineeritud kui välgu tabamuste arv ruutkilomeetri kohta aastas. Välkude tihedus on üheks oluliseks komponendiks riskianalüüsi teostamisel ohtlike sündmuste arvu leidmiseks.

Kui andmed välkude tiheduse kohta on puudulikud, nagu näiteks Eestis, või on neid andmeid keeruline leida, saab välkude tiheduse arvutada äikesepäevade arvu kaudu, kuna vastavad andmed on tunduvalt kättesaadavamad. [5]

Välkude tihedus leitakse valemiga [5]:

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25}, \quad (1.1)$$

kus N_g – pilve ja maa vaheliste välkude tihedus 1/[km²/aasta];

T_d – keskmine äikesepäevade arv aastas.

Valemi välkude tiheduse arvutamiseks äikesepäevade arvu kaudu annab ka piksekaitse standardisarja teine osa „Riskianalüüs“:

$$N_g = 0,1 \cdot T_d \quad (1.2)$$

Täpsemaks loetakse neist valemitest esimest ning see on heaks kiidetud ka Rahvusvahelise Elektrotehnikakomisjoni *IEC*, Suurte Elektrisüsteemide Rahvusvahelise Nõukogu *CIGRE* ja Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituudi *IEEE* (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) poolt. [5]

1.3. Välgu tekitatud vigastused ja kahju

Nii ehitist tabav välgu otselöök kui välgulöök ehitise lähedale võivad tekitada vigastusi mitte ainult ehitisele endale, vaid ka ehitise asukatele ja sisaldisele, kaasa arvatud sisesüsteemide rikked, mille põhjustajaks on välgu elektromagnetiline impulss. Samuti võivad vigastused ja rikked levida ehitisest väljapoole ja isegi ehitise lähiümbrusesse, ning sellise leviku ulatuse määravad nii ehitise enda kui välgu parameetrid. [1]

Standardis EVS-EN 62305-1 on loetletud ehitise peamised parameetrid, millest sõltub välgu mõju:

- a) konstruktsioon (näiteks puit-, tellis-, betoon-, raudbetoon- või terassõrestik-konstruktsioon);
- b) kasutusala (elumaja, kontor, talu, teater, hotell, kool, haigla, muuseum, kirik, vangla, kaubamaja, pank, tehas, tööstusettevõtte, spordiväljak);
- c) asukad ja sisaldis (inimesed ja loomad, tuleohtlike või mittesüttivate materjalide olemasolu, plahvatusohtlikud või mitteplahvatavad materjalid, elektri- ja elektroonikasüsteemid madala või kõrge taluvuspingega);
- d) ehitisega ühendatud liinid (elektriliinid, sideliinid, torujuhtmed);

- e) olemasolevad või eeldatavad kaitsemeetmed (nt ohtu elule ja füüsilisi vigastusi vähendavad kaitsemeetmed, sisesüsteemide rikkeid vähendavad kaitsemeetmed);
- f) ohu levimise ulatus (ehitis, kust on raske välja pääseda või ehitis, kus võib tekkida paanika, ümbrusele ohtlik ehitis, keskkonnale ohtlik ehitis).

Kuna ehitised, nende sisaldis ja kasutusotstarve on erinevad, on erinevad ka välgulöögi põhjustatud ilmingud, alates riknenud elektroonikaseadmetest kuni ehitise täieliku hävinemiseni. Võimalikud välgu mõjud eri tüüpi ehitistele on toodud tabelis 1.2.

Tabel 1.2. Välgu mõju tüüpilistele ehitistele [1]

Ehitise tüüp vastavalt kasutusala ja/või sisaldisele	Välgu mõju
Elumaja	Elektripaigaldiste läbilööök, tulekahju ja materiaalne kahju Vigastused piirduvad tavaliselt välgu tabamispunkti või välguvoolu tee läheduses paiknevate ehitistega Paigaldatud elektri- ja elektroonikaseadmete ja -süsteemide rikked (nt telerid, arvutid, modemid, telefonid jne)
Taluhooned	Esmane risk on tulekahju oht ja ohtlikud sammupinged, aga ka materiaalne kahju Sekundaarne risk on elektritoite kadumisest ning ventilatsiooni-, söödaetteandmis- jm elektroonse juhtimissüsteemi rikkest põhjustatud oht kariloomade elule
Teater, hotell, kool, kaubamaja, spordiväljak	Tõenäoselt võib elektripaigaldiste (nt elektrivalgustuse) rike põhjustada paanika Tulekahjusignalsatsiooniseadmete rike viivitab tuletõrje meetmete rakendamist
Pank, kindlustusselts, kaubandusettevõtte vms	Sama kui eespool, lisaks side kadumisest, arvuti riketest ja andmete kadumisest tekkinud probleemid
Haigla, hooldekodu, vangla	Sama kui eespool, lisaks intensiivravi olevate haigete probleemid ja liikumisvõimetute haigete päästmise raskused
Tööstus	Lisamõju, mis sõltub tehaste profiilist, ulatudes vähestest vigastustest kuni vastuvõetamatute vigastuste ja tootmise katkemiseni
Muuseum ja arheoloogiline kaevamine, kirik	Korvamatute kultuurivarade kaotamine
Telekommunikatsiooni-ettevõtte, elektrijaam	Kommunaalteenuste vastuvõetamatu katkemine
Ilutulestiku materjalide tehas, lõhkeaine tehas	Tulekahju ja plahvatuse tagajärjel tekkinud kahju tehasele ja selle ümbrusele
Keemiatehas, naftatöötlemistehas, tuumaelektrijaam, biokeemia laborid ja ettevõtted	Ettevõtte tulekahju ja talitlushäire koos kahjulike tagajärgedega kohalikule ja ülemaailmsele keskkonnale

Vigastuste ja rikete otseseks põhjustajaks on välguvool. Üheks peamiseks näitajaks, mis määrab välguvoolu põhjustatavad vigastused ehitisele, tema sisaldisele ning ehitises või ehitise läheduses viibivatele inimestele, on välgulöögi tabamispunkt vaatlusaluse ehitise suhtes. Piksekaitse standardis eristatakse nelja erinevat välgu tabamispunkti, mida tähistatakse vastavalt S1, S2, S3 ja S4 [1]:

- 1) S1 – ehitist tabavad välgud;
- 2) S2 – välgud ehitise lähedale;
- 3) S3 – ehitisega ühendatud liine tabavad välgud;
- 4) S4 – välgud ehitisega ühendatud liinide lähedale.

Erinevad vigastused ja rikked, mida välguvool sõltuvalt välgulöögi tabamispunktist võib põhjustada, on esitatud tabelis 1.3.

Tabel 1.3. Välguvoolu põhjustatud võimalikud vigastused ja rikked sõltuvalt välgulöögi tabamispunktist [1]

Välgulöögi tabamispunkt	Tekkida võivad vigastused ja rikked
S1	<ul style="list-style-type: none"> otsesed mehaanilised vigastused tulekahju ja/või plahvatused, mis võivad olla põhjustatud välgu kuumast plasmakaarest, voolu põhjustatud juhtmete takistuslikust soojenemisest (ülekuumenenud juhtmed) või elektrikaare põhjustatud erosioonist (sulametall) tulekahju ja/või plahvatused, mis on alguse saanud sädemetest, mille põhjuseks on juhtivusliku ja induktiivse sidestuse või mingi osa välgu-voolu kulgemisest tingitud liigpinged inimvigastused, mis on põhjustatud juhtivusliku ja induktiivse sidestuse tõttu tekkinud sammu- ja puutepingetest sisesüsteemide rikked või talitlushäired, mille on põhjustanud välgu elektromagnetiline impulss
S2	<ul style="list-style-type: none"> sisesüsteemide rikked või talitlushäired, mille tekitajaks on välgu elektromagnetiline impulss
S3	<ul style="list-style-type: none"> tulekahju ja/või plahvatused, mis on saanud alguse tehnovõrgu kaudu edastatud liigpingete ja välguvoolude tekitatud sädemetest inimvigastused, mis on põhjustatud tehnovõrgu kaudu edastatud välgu-voolude tekitatud puutepingetest ehitise sees sisesüsteemide rikked või talitlushäired, mis on põhjustatud ehitisega ühendatud liinides tekkinud ja ehitisse kandunud liigpingetest
S4	<ul style="list-style-type: none"> sisesüsteemide rikked või talitlushäired, mille põhjuseks on ehitisega ühendatud liinides tekkinud ja ehitisse kandunud liigpinged. Välgud ehitisse sisenevate torujuhtmete lähedale või neid tabavad välgud ei põhjusta vigastusi ehitises, kuna on eeldatud, et need torujuhtmed on ühendatud ehitise potentsiaaliühtlustuslatiga.

Kokkuvõtvalt on välgu poolt põhjustatud vigastusi kolme tüüpi, mis standardis kannavad tähistusi D1, D2 ja D3 [1]:

- 1) D1 – elusolendite vigastused, mis on põhjustatud elektrilöögist;
- 2) D2 – füüsilised vigastused (tulekahju, plahvatus, mehaaniline vigastus, keemiline lagunemine), mis on põhjustatud välguvoolust, kaasa arvatud sädelus;
- 3) D3 – sisesüsteemide rikked, mis on põhjustatud välgu elektromagnetilisest impulsist.

Vigastustest ja rikestest tingituna tekib alati teatud kahju. Iga eelpool toodud vigastuse tüüp, seda nii eraldiseisvalt kui omavahel kombineeritult, võib sõltuvalt kaitstava ehitise iseloomulikest tunnustest põhjustada erinevaid vigastusest tulenevaid kahjusid. Piksekaitse standardisari liigitab kaitstava ehitise vigastustest järgelduvad kahjud järgnevalt [1]:

- 1) L1 – inimese surm, kaasa arvatud jääv vigastus;
- 2) L2 – kommunaalteenuse lakkamine (kommunaalteenuste hulka loetakse standardi kohaselt ainult gaasivarustus, veevarustus, televisioon, telekommunikatsioon ja elektrivarustus);
- 3) L3 – kultuuripärandi kaotus;
- 4) L4 – majandusliku väärtuse vähenemine (ehitis ja tema sisaldis ning tegevuse lakkamine).

Kahju liigid L1, L2 ja L3 on standardi seisukohalt käsitletavad kui oluliste sotsiaalsete väärtuste kaotus, samas L4 tüüpi kahju on puhtmajanduslik. Kahju liikide seosed välgu tabamispunkti ning vigastuste põhjuste ja tüüpidega on koondatud tabelisse 1.4.

Tabel 1.4. Vigastused ja kahjud ehitises välgulöögi erinevate tabamispunktide korral [1]

Tabamispunkt	Vigastuse põhjus	Vigastuse tüüp	Kahju liik
Ehitis	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b ; L2, L4
Ehitise lähedal	S2	D3	L1 ^b ; L2, L4
Ehitisega ühendatud liin	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b ; L2, L4
Liini lähedal	S4	D3	L1 ^b ; L2, L4
a Ainult majandites, kus loomad võivad hukkuda.			
b Ainult ehitistes, kus on plahvatusoht, ja haiglates või teistes ehitistes, kus sisesüsteemide rike seab otseselt ohtu inimelu.			

Välgulöök ehitisse või ehitise lähedale on ohtlik ning võib põhjustada erinevat liiki vigastusi ja rikkeid, mis toovad endaga kaasa teatud kahju. Tekkida võiv kahju väljendub ehitise või tema sisaldise vigastustes ja hävimises, samuti ehitisega seotud elektri- ja elektroonikasüsteemide riketes ning halvimal juhul ehitises või ehitise lähedal viibivate elusolendite vigastustes ja hukkumises. Välgu poolt tekitatud kahju vähendamiseks võivad osutuda vajalikuks teatud piksekaitsemeetmed. Seda, kas üldse ja millises ulatuses piksekaitsemeetmeid rakendada, saab otsustada lähtuvalt seadusandlusest või peab meetmete vajaduse ja ulatuse kindlaks määrama standardikohase riskianalüüsi abil.

1.4. Piksekaitse vajaduse määramine

1.4.1. Piksekaitsemeetmed

Kaitsemeetmed võimalike välgu poolt tekitatud kahjude vähendamiseks saab jagada kahte gruppi – ehitiste vigastusi ja ohtu inimesele vähendavad meetmed ning elektri- ja elektroonikasüsteemide rikkeid vähendavad meetmed.

Ehitiste füüsikaliste vigastuste vähendamiseks saavutatakse kaitse piksekaitsesüsteemi abil. Piksekaitsesüsteem koosneb välgupüüdurite, allaviikude ja maandurite süsteemist ning välgupotentsiaaliühtlustusest ja välise piksekaitsesüsteemi elektriisolatsioonist. Üheks tähtsamaks meetmeks piksekaitsesüsteemi puhul vähendamaks tule- ja plahvatusohtu ning eluohtlikkust on potentsiaaliühtlustus. [1]

Elusolenditele elektrilöögist tekitatud vigastuste vähendamise kaitsemeetmete hulka kuuluvad välgupotentsiaaliühtlustus, potentsiaalitasandus võrkmaandussüsteemi abil, katmata juhtide osade piisav isoleerimine ning hoiatussildid ja füüsilised tõkked. Loetletud meetmed on efektiivsed vaid siis, kui ehitis on kaitstud piksekaitsesüsteemiga. [1]

Välgu elektromagnetilise impulsi põhjustatud elektri- ja elektroonikasüsteemide rikete vähendamise eelduseks on korrektne maandus ja potentsiaaliühtlustus. Lisaks kuuluvad sisesüsteemide kaitsemeetmete hulka veel magnetiline ekraneerimine, liinitrassi valik, isoleerivad sisendid ja koordineeritud liigpingekaitseseadmete ehk liigpingepiirikute

süsteem. Kõiki sisesüsteemide kaitseks ettenähtud meetmeid võib kasutada nii üksikult kui kombineerituna. [1]

Kaitsemeetmed peavad vastama asjakohastes standardites kehtestatud nõuetele ning olema võimelised taluma oma paigalduskohal eeldatavaid koormusi. Kaitsemeetmed välgulöögist põhjustatud vigastuste ning neist tulenevate kahjude vähendamiseks projekteeritakse lähtuvalt standardikohasest piksekaitsetasemest, mis kujutab endast sätestatud komplekti vastavatest välguvoolu parameetrite väärtustest, mille eest kaitsmist nõutakse või soovitakse. [1]

1.4.2. Piksekaitse tasemed ja klassid

Standardis on kehtestatud neli piksekaitsetaset – LPL I kuni LPL IV –, ning iga piksekaitse taseme jaoks on fikseeritud välguvoolu suurimate ja vähimate parameetrite komplektid. Piksekaitsetasemega on määratud tõenäosus, et vastavaid suurimaid ja vähimaid välguvoolu projektväärtusi ei ületataks tegeliku välgutabamuse korral. [1]

Piksekaitse seisukohalt tähtsad välguvoolu parameetrid, mis määravad välgu erinevad mõjud, on välguvoolu tippväärtus, välguvoolu laeng, erienergia ja välguvoolu frondi keskmine järskus.

Välguvoolu tippväärtuse ja erienergiaga on seotud välgu mehaaniline mõju. Välgu termiline mõju on määratud juhtivusliku sidestuse korral erienergiaga ja elektrikaare levimisel paigaldistele laenguga. Välguvoolu frondi keskmise järskusega on määratud induktiivsest sidestusest põhjustatud liigpinged ja ohtlik sädelus. [1]

Välguvoolu parameetrite suurimaid väärtusi, mis vastavalt piksekaitsetasemele on toodud tabelis 1.5, kasutatakse erinevate piksekaitsekomponentide projekteerimisel (näiteks juhtmete ristlõige, pleki paksus, liigpingekaitseadmete voolutaluvus, vahemikud ohtliku sädeluse vältimiseks). [1]

Tabel 1.5. Erinevate piksekaitsetasemetele (LPL) vastavate välguvoolu parameetrite suurimad väärtused [1]

Esmane lühike impulss			LPL			
Voolu parameetrid	Tähis	Ühik	I	II	III	IV
Voolu tippväärtus	I	kA	200	150	100	
Impulsi laeng	Q_{SHORT}	C	100	75	50	
Erienergia	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
Ajalised parameetrid	T_1/T_2	μs/μs	10/350			
Edasine impulss			LPL			
Voolu parameetrid	Tähis	Ühik	I	II	III	IV
Voolu tippväärtus	I	kA	50	37,5	25	
Keskmine järskus	di/dt	kA/μs	200	150	100	
Ajalised parameetrid	T_1/T_2	μs/μs	0,25/100			
Pikk välgulöök			LPL			
Voolu parameetrid	Tähis	Ühik	I	II	III	IV
Pika välgulöögi laeng	Q_{LONG}	C	200	150	100	
Ajalised parameetrid	T_{LONG}	s	0,5			
Välk			LPL			
Voolu parameetrid	Tähis	Ühik	I	II	III	IV
Välgu laeng	Q_{FLASH}	C	300	225	150	

Piksekaitse tasemetele sätestatud välguvoolu vähimaid väärtusi kasutatakse piksevarda kaitsetsooni määramisel veereva sfääri meetodil kasutatava sfääri raadiuse leidmiseks. Välguvoolu parameetrite vähimad väärtused koos vastava veereva sfääri raadiusega on toodud tabelis 1.6.

Tabel 1.6. Välguvoolu parameetrite vähimad väärtused ja vastavad veereva sfääri raadiused erinevate piksekaitsetasemete (LPL) jaoks [1]

Piirkriteeriumid			LPL			
	Tähis	Ühik	I	II	III	IV
Voolu vähim tippväärtus	I	kA	3	5	10	16
Veereva sfääri raadius	r	m	20	30	45	60

Kaitsemeetmed, mis on sätestatud standardites EVS-EN 62305-3 ja EVS-EN 62305-4, on efektiivsed välkude puhul mille parameetrid asuvad piksekaitse projekteerimisel aluseks võetud piksekaitsetasemele vastavas vahemikus. Vastava kaitsemeetme efektiivsus on hinnanguliselt võrdne tõenäosusega, et välguvoolu parameetrid asuvad selles vahemikus. Nende parameetrite puhul, mis asuvad sellest vahemikust väljaspool, säilib vigastuse teatud risk. [1]

Erinevatele piksekaitsetasemetele vastavad välguvoolu piirparameetrite tõenäosused on esitatud tabelis 1.7.

Tabel 1.7. Välguvoolu piirparameetrite tõenäosused [1]

Tõenäosus, et välguvoolu parameetrid	LPL			
	I	II	III	IV
- on väiksemad, kui tabelis 1.5 sätestatud suurimad väärtused	0,99	0,98	0,95	0,95
- on suuremad, kui tabelis 1.6 sätestatud väikseimad väärtused	0,99	0,97	0,91	0,84

Nagu selgub tabelist 1.7, on kõige efektiivsema piksekaitsetaseme LPL I korral kaitse välgulöögi mõjude eest tagatud 99 % ulatuses. Kaitsemeetmed selliste välgude puhul, mille suurimad ja vähimad parameetrid ületavad tasemele LPL I vastavaid välguvoolu väärtusi, nõuavad individuaalset lähenemist ja efektiivsemate kaitsemeetmete rakendamist. Sellised meetmed peab valima ja paigaldama igal konkreetsel juhul eraldi.

Lähtuvalt kaitstavast ehitisest ja soovitud piksekaitsetasemest (LPL) määratakse ära piksekaitsesüsteemi (LPS) omadused. Selleks otstarbeks on standardis kehtestatud piksekaitsesüsteemi klassid. Piksekaitsesüsteemi klass on number, mis klassifitseerib piksekaitsesüsteemi vastavalt ettenähtud piksekaitse tasemele – piksekaitsetasemele LPL I vastab piksekaitsesüsteemi klass LPS I, tasemele LPL II kaitseklass LPS II jne. Mida väiksem on kaitseklassi number, seda efektiivsem on kaitse välgulöögi mõjude eest. [3].

Piksekaitseklassid kujutavad endast piksekaitsesüsteemi ehituseeskirjade komplekte. Iga komplekt sisaldab piksekaitsesüsteemi klassist sõltuvaid ja sõltumatuid tegureid piksekaitsesüsteemi projekteerimiseks ja ehitamiseks. Antud tegurid on toodud tabelis 1.8.

Tabel 1.8. Piksekaitseklassist sõltuvad ja sõltumatud tegurid [3]

Piksekaitsesüsteemi klassist sõltuvad tegurid	Piksekaitsesüsteemi klassist sõltumatud tegurid
<ul style="list-style-type: none"> välgu parameetrid veereva sfääri raadius, võrgu mõõtmed ja kaitsenurk allaviikude eelistatavad vahekaugused ohtlikku sädelust vältivad eraldusvahemikud maandurite vähim pikkus 	<ul style="list-style-type: none"> välgupotentsiaaliühtlustus metall-lehtede või metalltorude vähim paksus välgupüüdurite süsteemis piksekaitsesüsteemi materjalid ja kasutus-tingimused välgupüüdurite, allaviikude ja maanduri-elementide materjal, konfiguratsioon ja vähimmõõtmed ühendusjuhtmete vähimmõõtmed

Piksekaitseklassi valik sõltub vaadeldavast ehitisest – ehitise parameetritest, kasutusala- ja sisaldisest. Sobiv kaitseklass kas määratakse vastavalt kehtivale seadusandlusele või tehes vaadeldavale hoonele riskianalüüs.

1.4.3. Piksekaitse paigaldamise kohustusega hooned

Mõnes riigis, näiteks Soomes ja Suurbritannias, peab piksekaitseklassi määrama riskianalüüsi alusel. Riskianalüüsi tulemuste põhjal valib vajaliku piksekaitse taseme ehitise omanik, ehitaja või kasutaja. [6]

Nagu sätestab standard EVS-EN 62305-1, võib jurisdiktsiooni omav instants määrata teatud juhtudel piksekaitse kohustuslikuks ilma, et oleks vaja läbi viia riskianalüüs. Paljudes riikides peab seega piksekaitseklassi valima eelkõige vastavalt kehtivale seadusandlusele. Sellisteks riikideks on näiteks Vene Föderatsioon, Ameerika Ühendriigid ja Saksamaa Liitvabariik. [6]

Viimaste hulka kuulub ka Eesti, kus piksekaitse paigaldamise kohustusega ehitised on kehtestatud 30.03.2017 vastu võetud siseministri määrusega nr 17 „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele“.

Vastavalt eelnimetatud määrusele peab piksekaitse olema I, II, IV, V ja VI kasutusviisiga hoonel, mille kõrgeim osa ulatub ümbruskonna hoonestusest enam kui 15 meetrit kõrgemale. [7]

Hoone kõrgusest olenemata tuleb piksekaitse paigaldada [7]:

- 1) TP2- ja TP3-klassi kuuluvale II või IV kasutusviisiga hoonele, kui sellise hoone kandekonstruktsioon ei ole A1 või A2 tuletundlikkusega;
- 2) III kasutusviisiga hoonele;
- 3) VI kasutusviisiga hoonele, milles toimub tuleohtlik või tule- ja plahvatusohtlik tootmisprotsess või säilitatakse sellise omadusega materjali;
- 4) lahtisele IV kasutusviisiga ehitisele, kus on korraga rohkem kui 200 kasutajat;
- 5) loomapidamishoonele, kus on rohkem kui 100 looma.

Hoonete kasutusviis on määratud vastavalt hoone kasutamiststarbele [7]:

- 1) I kasutusviis – eluhooned;
- 2) II kasutusviis – majutushooned;
- 3) III kasutusviis – hoolekande- ja kinnipidamishooned;
- 4) IV kasutusviis – kogunemishooned;
- 5) V kasutusviis – kontorid;
- 6) VI kasutusviis – tööstus- ja laohooned;
- 7) VII kasutusviis – garaažid.

TP-klass näitab tuleohutusklassi, millesse hoone on lähtuvalt tuleohutusest jaotatud [7]:

- 1) TP1 – tulekindel;
- 2) TP2 – tuldtakistav;
- 3) TP3 – tuldkartev.

A1 ja A2 tähistavad hoone ehitamisel kasutatud materjalide ja toodete tuletundlikkust, mis määratakse materjalide standardtulekatsete alusel, ning nende tähistete sisu on järgnev [7]:

- 1) A1 – materjal ei ole tuletundlik;
- 2) A2 – materjal ei ole tuletundlik, kuid kokkupuutes tulega võib materjalist eralduda eriti vähesel määral suitsu.

Detailsema teabe hoonete kasutusviiside kohta – esitatud on ka hoonete kasutusotstarvete loetelu –, samuti tuleohutusklasside ja materjalide tuletundlikkuse kohta leiab kõne all olevast määrusest ning selle lisadest.

Eelnevalt kehtinud piksekaitse paigaldamiskohustust reguleerinud majandus- ja taristu-ministri määrus nr 54 „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded“ (vastu võetud 02.06.2015) määras samuti ära hooned, millistele on piksekaitse paigaldamine kohustuslik, kuid ei määranud millise kaitsetasemega ehk kaitseklassiga peab see piksekaitsesüsteem olema. Uues, hetkel kehtivas määruses on see viga parandatud ning määrus on viidud vastavusse standardiga EVS-EN 62305-1, mis sätestab, et kui jurisdiktsiooni omav instants on määranud teatud juhtudel piksekaitse kohustuslikuks ilma vajalikkuseta riski hinnata, peab vastav instants määrama ka nõutava piksekaitsetaseme.

Vastavalt kehtiva määruse § 39 lõikele 4 peab hoone piksekaitsesüsteemi kaitseklassi valikul peab lähtuma asjakohase standardi alusel koostatud riskianalüüsi tulemustest või järgmistest nõuetest:

- 1) I kaitseklassiga piksekaitse peab olema, sõltumata hoone kõrgusest, plahvatusohtlikul tööstushoonel või -laol ja lennujuhtimiskeskusel;
- 2) II kaitseklassiga piksekaitse peab olema, sõltumata hoone kõrgusest, kõrge tuleohuga tööstushoonel või laol, hoonel, kus on ööpäev ringi hoolealuseid, nagu haigla, hooldekodu või lastekodu, Häirekeskuse hoonel, raadio- ja televisiooni-mastil ning hoonel kõrgusega üle 100 meetri;
- 3) III kaitseklassiga piksekaitse peab olema, sõltumata hoone kõrgusest, inimeste kogunemiskohtadel, nagu kool, lasteaed, teater, kino, ujula, staadion või spordihall, milles pealtvaatajate kohtade arv on üle 200, hotellil, kus voodikohtade arv on üle 60, tööstushoonel, kus ei ole kõrget tuleohtu, büroohoonel, pangal või kauplusel, kui nende kasulik pind on üle 2000 ruutmeetri, loomapidamishoonel, kus on rohkem kui 100 looma, ning hoonel kõrgusega üle 26 meetri;
- 4) IV kaitseklassi kuuluvad ülejäänud hooned, kus piksekaitse on vajalik.

Antud määruse eelnõu seletuskirja kohaselt tuleb seda lõiget mõista selliselt, et hoonete piksekaitset projekteerides tuleks eelkõige läbi viia riskianalüüs vastavalt asjakohasele standardile, ehk standardile EVS-EN 62305-2, ning kaitseklass valida riskianalüüsi tulemuste põhjal. Määruses sätestatud piksekaitseklasside valikust peab lähtuma siis, kui riskianalüüsi ei tehta. [8]

Sobiva piksekaitseklassi saab niisiis valida nii riskianalüüsi kui määruse alusel. Kumba varianti kasutada, on jäetud piksekaitse projekteerija otsustada. Valdavalt ongi just seesama määrus mingile hoonete piksekaitseklassi määramise aluseks ning riskianalüüs tehakse pigem ehituslikult keerulisemata hoonete korral või kui ühes hoones on mitu erineva kasutusviisiga osa.

1.4.4. Riskianalüüsi metoodika

Riskianalüüsi abil määratakse ehitisele piksekaitse paigaldamise vajadus ning hinnatakse valitud kaitsemeetmete majanduslikku põhjendatust. Selleks otstarbeks on piksekaitse

standard ehitise iga välguvoolu põhjustatud kahju liigiga (L1 kuni L4) sidunud konkreetse riski R , mis on defineeritud kui võimalik aastase keskmise kahju suhteline väärtus. Risk hinnatakse iga ehitises esineda võiva kahju liigi jaoks.

Ehitises eristatakse järgmiseid riske [1]:

- 1) R_1 – risk kaotada inimelu või põhjustada jääv vigastus;
- 2) R_2 – risk kaotada kommunaalteenus;
- 3) R_3 – risk kaotada kultuuripärand;
- 4) R_4 – majandusliku kahju tekkimise risk.

Riski R hindamiseks tuleb määratleda ja arvutada vastava riski komponendid – vigastuste põhjusest ja tüübist sõltuvad osariskid. Iga risk R on nende vastavate osariskide summa. Riski arvutamisel grupeeritakse riskikomponendid vastavalt vigastuse põhjusele, vigastuse tüübile ja tekkida võiva kahju liigile, nagu on näidatud tabelis 1.9. [2]

Tabel 1.9. Riskikomponendid vastavalt vigastuse põhjusele ja tüübile ning kahju liigile

Vigastuse põhjus	Vigastuse tüüp	Kahju liik	Riskikomponent
S1	D1	L1, L4 ^a	R_A
	D2	L1, L2, L3, L4	R_B
	D3	L1 ^b ; L2, L4	R_C
S2	D3	L1 ^b ; L2, L4	R_M
S3	D1	L1, L4 ^a	R_U
	D2	L1, L2, L3, L4	R_V
	D3	L1 ^b ; L2, L4	R_W
S4	D3	L1 ^b ; L2, L4	R_Z
a Ainult majandites, kus loomad võivad hukkuda.			
b Ainult ehitistes, kus on plahvatusoht, ja haiglates või teistes ehitistes, kus sisesüsteemide rike seab otseselt ohtu inimelu.			

Ehitises hindamisele tulev iga risk R leitakse igale kahju liigile vastavate osariskide ehk riskikomponentide summana järgnevalt [2]:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1} ; \quad (1.3)$$

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} ; \quad (1.4)$$

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} ; \quad (1.5)$$

$$R_4 = R_{A4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} . \quad (1.6)$$

Iga üksiku riskikomponendi ($R_A, R_B, R_C, R_M, R_U, R_V, R_W$ ja R_Z) arvutamise saab avaldada põhivalemiga [2]:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X, \quad (1.7)$$

kus N_X – ohtlike sündmuste arv aastas;

P_X – ehitise vigastamise tõenäosus;

L_X – vastav kahju.

Ohtlike sündmuste arv N_X sõltub pilve ja maa vaheliste välkude tihedusest (N_g), kaitstava ehitise füüsikalistest omadustest ja ehitise ümbrusest. Samuti pinnasest ning ehitisega ühendatud liinidest. Ehitise vigastamise tõenäosust P_X mõjutavad kaitstava ehitise omadused, ehitisega ühendatud liinid ja kasutatud kaitsemeetmed. Vastav kahju L_X sõltub kaitstava ehitise kasutusala, inimeste kohalolekust, osutatava kommunaalteenuse liigist, kahjustatud vara väärtusest ning meetmetest, mis on kahju ulatuse piiramiseks rakendatud. Kui ehitise välgu põhjustatud vigastustest võivad olla haaratud ka ümbritsevad ehitised ja keskkond, näiteks radioaktiivse või keemilise saaste korral, tuleb vastavad kahjud lisada kahju L_X väärtusele. [2]

Tegurite N_X , P_X ja L_X leidmine iga konkreetse riskikomponendi puhul on detailselt ning riskianalüüsi teostajale, ehk piksekaitse projekteerijale kergesti järgitavalt kirjeldatud standardis EVS-EN 62305-2.

Riskianalüüsi põhiprotseduur koosneb järgmistest tegevustest [2]:

- 1) kaitstava ehitise ja selle omaduste kindlakstegemine;
- 2) kõigi ehitises esineda võivate kahju liikide ja neile vastavate riskide R (R_1 kuni R_4) kindlakstegemine;
- 3) riski R hindamine kõikide kahjulikkude jaoks R_1 kuni R_4 ;
- 4) piksekaitsemeetmete vajalikkuse hindamine võrreldes tegelike riske R_1 , R_2 ja R_3 vastuvõetava riskiga R_T ;
- 5) piksekaitsemeetmete kulutuste tõhususe hindamine, võrreldes kogukahjude väärtusi kaitsemeetmete olemasolul ja ilma nendeta.

Piksekaitse vajadust hinnatakse riskide R_1 , R_2 ja R_3 alusel. Piksekaitse on vajalik, kui riski R väärtus on suurem kui vastuvõetava riski R_T väärtus: $R > R_T$. Kui $R \leq R_T$,

piksekaitse vajalik ei ole. Vastuvõetava riski väärtuse kindlaksmääramine kuulub vastava jurisdiktsiooniga ametiasutuse pädevusse. Eestis seda tehtud ei ole ning lähtuda tuleb standardis toodud vastuvõetava riski tüüpilistest väärtustest, mis on esitatud tabelis 1.10.

Tabel 1.10. Vastuvõetava riski R_T tüüpilised väärtused [2]

Kahju liigid		R_T a^{-1}
L1	Inimese surm või püsiv vigastus	10^{-5}
L2	Kommunaalteenuse lakkamine	10^{-3}
L3	Kultuuripärandi kaotus	10^{-4}

Kõige sobivamad kaitsemeetmed valitakse vastavalt iga riskikomponendi osatähtsusele koguriskis R ning võttes arvesse lisaks erinevate piksekaitsemeetmete tehnilistele omadustele kaitsemeetmete majanduslikke näitajaid. [2]

Kaitsemeetmete majanduslik põhjendatus väljendub tõhususes, mida annab majandusliku kahju L_4 vähendamiseks kasutatavate piksekaitsemeetmete rakendamine. Majandusliku kahju väärtust juhul, kui piksekaitsemeetmed on rakendatud ja juhul, kui neid rakendatud ei ole, võimaldab hinnata riski R_4 komponentide määramine. [2]

Majandusliku tõhususe hindamiseks tuleb leida [2]:

- 1) kogukahju aastane maksumus kaitsemeetmete puudumisel C_L ;
- 2) kogu jääkkahju aastane maksumus valitud kaitsemeetmete olemasolul C_{RL} ;
- 3) valitud kaitsemeetmete aastane maksumus C_{PM} .

Kui $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, ei ole piksekaitse majanduslikult põhjendatud. Kui $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, võib kinnitada et valitud kaitsemeetmed säästavad raha kaitstava ehitise kogu eluea jooksul. [2]

Iga kahju liigi jaoks võib olla mitmeid erinevaid kaitsemeetmeid, mis üksikult või kombineeritult täidavad tingimust $R \leq R_T$. Konkreetsel juhul rakendatav lahendus peab olema valitud kooskõlas nii tehniliste kui majanduslike aspektidega. Lähtudes majandusliku tõhususe seisukohast, võib optimaalse lahenduse leidmiseks osutuda vajalikuks hinnata erinevaid kaitsemeetmete kombinatsiooni variante.

1.5. Piksekaitsesüsteemi projekteerimise üldpõhimõtted

Piksekaitsesüsteemi projekteerimine mingile ehitisele, nii olemasolevale kui uusehitisele, algab piksekaitse vajaduse väljaselgitamisega. Juhul, kui vaadeldava ehitise suhtes ei kehti riigi õigusaktidest tulenevat piksekaitse paigaldamise kohustust, tuleb sobilike piksekaitsemeetmete, ehk siis piksekaitseklassi väljaselgitamiseks teostada riskianalüüs vastavalt piksekaitse standardi EVS-EN 62305 osale 2 „Riskianalüüs“.

Planeerides olemasolevale ehitisele piksekaitsesüsteemi, tuleks seda alati võrrelda standardile vastavate muude piksekaitsemeetmetega, et saavutada sama kaitsetase vähendatud kulutustega. [3]

Piksekaitsesüsteemi projekteerijaks võib olla ainult elektripaigaldiste projekteerimiseks vastavat pädevust omav isik. Antud pädevus tagab, et projekteerija on vastavalt standardis EVS-EN 62305-3 seatud nõuetele võimeline hindama nii välgulahenduse elektrilisi kui ka mehaanilisi mõjusid, on tuttav elektromagnetilise ühilduvuse üldpõhimõtetega ning on võimeline hindama ka korrosiooni mõjusid. Piksekaitse projekteerimise efektiivsuse tagab töö lisas 3 toodud plokkskeemi järgimine.

Piksekaitsesüsteemi planeerimine ja projekteerimine, ehitamine, kasutuselevõtmine ja katsetamine haarab hulga tehnikaalasid, seetõttu on vajalik kõigi ehitisega seotud osapoolte koordineeritus, et valitud piksekaitsetase oleks saavutatud võimalikult kuluefektiivselt ning vähimate võimalike pingutustega. Väga suurt osatähtsust omavad kvaliteedi tagamise meetmed, eriti ehitiste puhul mis sisaldavad laiaulatuslikke elektri- ja elektroonika-paigaldisi. [3]

Kvaliteedi tagamine ja osapoolte kaasamine on olulised kõikidel piksekaitse planeerimise, paigaldamise ja ekspluatatsiooni etappidel, milleks on:

- 1) piksekaitsesüsteemi ehituslik projekteerimine;
- 2) piksekaitsesüsteemi ehitamine;
- 3) piksekaitsesüsteemi nõuetekohasuse hindamine;
- 4) piksekaitsesüsteemi kontrolli ja hoolduse vajaliku perioodsuse määramine.

Ehitusliku projekteerimise käigus kooskõlastatakse kõikide asjakohaste osapoolte vahel kõik piksekaitsesüsteemi joonised ning kasutatavad materjalid, komponendid ja seadmed, et need vastaksid kehtivatele standarditele ja muudele nõuetele.

Ehitamise käigus peab olema tagatud piisav kontroll, et tagada paigalduslahenduste ja kasutatavate materjalide vastavus projektile ja eelnevatele kooskõlastustele. Eriti tähtis on ehitusetapil kontrollida piksekaitsesüsteemi loomulikke ja muid komponente, mis pärast ehitustööde lõpetamist ei ole kättesaadavad. Harvad ei ole ka juhud, kui ehitamise faasist tuleb siirduda tagasi projekteerimise ja kooskõlastamise faasi, kuna oluliselt on muutunud ehitise esialgsed konstruktsioonilised lahendused või kasutatavad ehitusmaterjalid, lisandunud on korstnaid või seadmeid hoone katusele, või on muutunud lausa hoone kasutusviis. Kõik need asjaolud võivad nõuda ka valitud piksekaitsemeetmete ja piksekaitsesüsteemi paigaldusviiside muutmist.

Piksekaitsesüsteemi paigaldamise järgselt toimub süsteemi vastuvõtt ja nõuetekohasuse hindamine, mille käigus teostatakse piksekaitsesüsteemi lõplikud kontrollmõõtmised koos lõppkatsetuste dokumentatsiooni koostamisega. Tavaliselt viiakse piksekaitsesüsteemi mõõtmised läbi samaaegselt kogu elektripaigaldise vastuvõtueelsete kontrollmõõtmistega. Vastuvõtmise auditi viib läbi ja väljastab paigaldise nõuetekohasust kinnitava dokumendi sertifitseeritud mõõteasutus.

Kõige lõpuks tuleb piksekaitsesüsteemile määrata nõuetekohase perioodsusega kontrolli ja hoolduse kava, et oleks tagatud piksekaitsesüsteemi toimimine terve ehitise eluea jooksul. Kontrolli ja hoolduse perioodsus ja nõuetekohane dokumenteerimine määratakse vastavalt standardile EVS-EN 62305-3, kui seadusandja ei ole kehtestanud standardist erinevaid nõudeid.

1.6. Piksekaitsesüsteemi projekteerimiseks kasutatav tarkvara

Tarkvarapakette piksekaitsesüsteemi projekteerimiseks leiab mitmeid. Enamus internetist leitavaid programme keskendub riskianalüüsi tegemisele – programmi abil saab kerge

vaevaga sooritada kaitstava hoone standardikohase riski hindamise, kuna vastava standardi nõuded on programmis juba eelsisestatud.

Ka paljud piksekaitsesüsteemi komponentide tootjad pakuvad tarkvara, mis lihtsustab projekteerijate tööd, aidates neil orienteeruda oma tootevalikus ning aitavad leida õige toote sõltuvalt vajaminevast lahendusest.

Eestis vast enimtuntud piksekaitsematerjalide tootja, *OBO Bettermann*, pakub näiteks veebipõhist tarkvara liigpingepiirikute valimiseks – *OBO Construct TBS*. [9]

Teise tuntud tootja *DEHN* poolt pakutavate tarkvarapakettide valik on tunduvalt laiem. Nende pakutav *DEHNsupport Toolbox* koosneb erinevatest moodulitest, millest igaüks on konkreetse piksekaitsesüsteemi olulise osa projekteerimiseks. Programmiga saab sooritada riskianalüüsi, arvutada nõutavat eraldusvahemikku, piksevarraste ja maanduselektroodide pikkust ning valida sobivad liigpingekaitsevahendid. [10]

Erinevat tarkvara, nii veebipõhist kui allalaaditavat, leiab internetist veelgi. Kõige olulisem erinevate tarkvarapakettide kasutamisel on veenduda, et vastav tarkvara ühilduks Eestis kehtivate piksekaitse standarditega.

2. PIKSEKAITSESÜSTEEMI KOMPONENTIDE VALIK JA PAIGALDAMINE

2.1. Piksekaitse välissüsteem

Piksekaitse välissüsteemi ülesandeks on ehitist tabavate välgu otselöökide püüdmine, välguvoolu juhtimine tabamispunktist maasse ning voolu hajutamine maas. See saavutatakse välise piksekaitsesüsteemi erinevate osade abil, milleks on välgupüüdurite süsteem, allaviikude süsteem ja maandurite süsteem.

Välgulöögid püütakse välgupüüdurite abil ning allaviikude kaudu juhitakse välguvool edasi maasse. Maandurite süsteem peab tagama voolu hajutamise maasse ilma, et tekkiks id termilised või mehaanilised kahjustused ja ohtlik sädelus, mis võivad põhjustada tulekahju või plahvatusi. [3]

Piksekaitse välissüsteemi saab ehitada eraldamata või eraldatud piksekaitsesüsteemina. Eraldamata piksekaitse korral on piksekaitsesüsteem kontaktis kaitstava hoonega, eraldatud piksekaitse puhul aga asetsevad välgupüüdurid kaitstavast ehitisest eemal.

Enamasti ehitatakse väline piksekaitse ehitisest eraldamata süsteemina. Eraldatud süsteemi peaks kaaluma juhul, kui on oht et termilised või plahvatusmõjud välgu tabamispunktis või välguvoolu kandvates juhtides tekitavad ehitisele või selle sisule kahjustusi. Tüüpilisteks näideteks on siinkohal süttivatest ehitus- või katematerjalidest ehitised ning tule- või plahvatusohtlikud alad. Eraldatud süsteemi kasutamine võib olla sobiv ka siis, kui on ette näha ehitise, selle sisu või kasutusotstarbe muudatusi, mis nõuavad piksekaitsesüsteemi muutmist, või kui ehitise sisu tundlikkuse tõttu on vaja vähendada allaviigus voolava välguvooluimpulsi mõjul kiiratavat elektromagnetvälja. [3]

Piksekaitsesüsteemi osadena võib kasutada ka juhtivast materjalist loomulikke komponente, mis alatiseks jäävad kas ehitise sisse või peale ja mida ei muudeta, näiteks ehitise metallkarkass, kokkuühendatud terasarmatuur jms. [3]

2.1.1. Üldnõuded piksekaitse välissüsteemi komponentidele

Piksekaitsesüsteemi toimimiseks peavad selle komponendid purunemiseta taluma välguvoolu elektromagnetilisi mõjusid ja etteennustatavaid juhuslikke koormusi. Antud nõue tagatakse standardikohaste komponentide valimisega. Piksekaitsesüsteemi komponendid peavad olema tehtud tabelis 2.1 loetletud materjalidest või muudest ekvivalentsete mehaaniliste, elektriliste ja keemiliste kasutusomadustega materjalidest. Kinnitustes võib kasutada ka mittemetalseid komponente. [3]

Tabel 2.1. Piksekaitsesüsteemi materjalid ja kasutustingimused ^a [3]

Materjal	Kasutuskohad			Korrosioon		
	Vabas õhus	Maa sees	Betoonis	Vastupidavus	Mille mõjul suureneb	Võib hävineda galvaanilises ühenduses järgmise materjaliga
Vask	Massiivjuht Kiudjuht	Massiivjuht Kiudjuht Pinna- kattena	Massiivjuht Kiudjuht Pinna- kattena	Hea paljudes keskkondades	Väävli- ühendid Orgaanilised materjalid	-
Kuumtsingitud teras ^{c, d, e}	Massiivjuht Kiudjuht ^b	Massiivjuht	Massiivjuht Kiudjuht ^b	Vastuvõetav õhus, betoonis ja mitteohtlikes pinnastes	Kõrge kloriidide sisaldus	Vask
Vasega elektrisadestatud teras	Massiivjuht	Massiivjuht	Massiivjuht	Hea paljudes keskkondades	Väävli- ühendid	-
Roostevaba teras	Massiivjuht Kiudjuht	Massiivjuht Kiudjuht	Massiivjuht Kiudjuht	Hea paljudes keskkondades	Kõrge kloriidide sisaldus	-
Alumiinium	Massiivjuht Kiudjuht	Sobimatu	Sobimatu		Leeliselised olud	Vask
Plii ^f	Massiivjuht Pinna- kattena	Massiivjuht Pinna- kattena	Sobimatu		Happelised pinnased	Vask Roostevaba teras
<p>a Tabel annab ainult üldisi juhtnõure. Erioludes on nõutav hoolikam korrosioonitaluvuse hindamine.</p> <p>b Kiudjuhtmed on täisjuhtmetest enam korrosioonialt. Kiudjuhtmed on samuti ohustatud kohtades, kus nad sisenevad või väljuvad maasse/maast või betooni/betoonist. See on põhjuseks, miks tsingitud teraskiudjuhtmeid ei soovitata maa sees kasutada.</p> <p>c Tsingitud teras võib korrodeeruda savipinnases või märjas pinnases.</p> <p>d Tsingitud teras betoonis ei tohiks väljuda sealt pinnasesse terase võimaliku korrosiooni tõttu just betoonist väljumise kohas.</p> <p>e Tsingitud terase kontakti armatuuri terasega ei tohi kasutada rannaladel, kus pinnavesi võib sisaldada soola.</p> <p>f Plii kasutamine pinnases on paljudel juhtudel keelatud või piiratud keskkonnahoiu kaalutlusel.</p>						

Lisaks materjalidele seatud nõuetele ja piirangutele kasutuskohtade osas, on seatud nõuded ka piksekaitsesüsteemi erinevate osade kujule ja sellele vastavalt ristlõikepindalale. Välgupüüdurite juhtide, piksevarraste, allaviikude ja maa sisestusjuhtide kuju ja vähimad ristlõikepindalad sõltuvalt nende valmistamiseks kasutatud materjalist on esitatud tabelis 2.2.

Tabel 2.2. Välgupüüduri juhtide, piksevarraste ja allaviikude materjal, kuju ja vähimad ristlõikepindalad [3]

Materjal	Kuju	Vähim ristlõikepindala mm ²
Vask Tinatatud vask	Lintmaterjal	50
	Ümarmaterjal ^a	50
	Kiud ^a	50
	Ümarmaterjal ^b	176
Alumiinium	Lintmaterjal	70
	Ümarmaterjal	50
	Kiud	50
Alumiiniumisulam	Lintmaterjal	50
	Ümarmaterjal	50
	Kiud	50
	Ümarmaterjal ^b	176
Elektroodsadestatud vasega alumiiniumisulam	Ümarmaterjal	50
Kuumsukeldustsingitud teras	Lintmaterjal	50
	Ümarmaterjal	50
	Kiud	50
	Ümarmaterjal ^b	176
Elektroodsadestatud vasega teras	Lintmaterjal	50
	Ümarmaterjal	50
Roostevaba teras	Lintmaterjal ^c	50
	Ümarmaterjal ^c	50
	Kiud	70
	Ümarmaterjal ^b	176
<p>a Kui mehaaniline tugevus ei ole loomulikuks nõudeks, võib mõnede rakenduste puhul vähendada ristlõikepindala väärtuselt 50 mm² (läbimõõt 8 mm) väärtuseni 25 mm². Sel juhul tuleks kaaluda kinnitustdetailide vahelise kauguse vähendamist.</p> <p>b Kasutatav ainult piksevarrastes ja maanduse sisestusvarrastes. Juhul, kui mehaanilised jõud, nagu tuuekoormus, ei ole kriitilised, võib kasutada lisakinnitustega 9,5 mm läbimõõduga ja enamalt 1 m pikkusi vardaid.</p> <p>c Kui termilised ja mehaanilised aspektid on olulised, tuleb neid mõõtmeid suurendada väärtuseni 75 mm².</p>		

Sarnaselt välgupüüduritele, piksevarrastele ja allaviikudele on standardiseeritud ka maanduselektroodide materjal, kuju ja mõõtmed. Maanduselektroodile sätestatud nõuded on toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3. Maanduselektroodide materjal, kuju ja vähimad mõõtmed ^a [3]

Materjal	Kuju	Vähimad mõõtmed		
		Maandusvarras läbimõõduga mm	Maandurjuht ^b mm ²	Plaatmaandur mm
Vask Tinatatud vask	Kiud		50	
	Ümarmaterjal	15	50	
	Lintmaterjal		50	
	Toru	20		
	Täismetallplaat			500 × 500
	Sõrestikplaat ^d			600 × 600
Kuumsukeltsingitud teras	Ümarmaterjal	14	78	
	Toru	25		
	Lintmaterjal		90	
	Täismetallplaat			500 × 500
	Sõrestikplaat ^d			600 × 600
	Profiil	^e		
Paljas teras ^c	Kiud		70	
	Ümarmaterjal		78	
	Lintmaterjal		75	
Elektroodsadestatud vasega teras	Ümarmaterjal	14	50	
	Lintmaterjal		90	
Roosetavaba teras	Ümarmaterjal	15	78	
	Lintmaterjal		100	
<p>a B-tüüpi vundamendimaanduriga paigaldises peab maanduselektrood olema korralikult iga 5 m tagant ühendatud terasarmatuuriga.</p> <p>b Maandurjuhi all mõeldakse peamiselt rõhtsaid elektroode (siia ei kuulu maandusvardad ja plaatmaandurid)</p> <p>c Peab olema sukeldatud betooni vähemalt 50 mm sügavusele.</p> <p>d Sõrestikplaat on valmistatud juhust vähima pikkusega 4,8 m.</p> <p>e Lubatavad on mitmesugused profiilid ristlõikepindalaga 290 mm² ja vähima paksusega 3 mm.</p>				

Piksekaitsesüsteemi komponentide materjalide ja mõõtmete valikul on oluline silmas pidada nii kaitstava ehitise kui piksekaitsesüsteemi korrodeerumise võimalust.

2.1.2. Välgupüüdurite süsteem

Piksekaitsesüsteemi välgupüüdurite süsteem koostatakse järgnevate elementide mis tahes kombinatsioonina [3]:

- a) vardad (k.a eraldiseisvad mastid);
- b) rõhtjuhid;
- c) võrkjuhid.

Välgupüüdurite osad paigaldatakse ehitise nurkadele, tabamisaltidesse punktidesse ja servadele, eriti mis tahes fassaadide ülemistele osadele. Üksikud piksevardad peavad katuse tasandil olema omavahel ühendatud voolujagunemise kindlustamiseks. Mis tahes tüüpi välgupüüdurite kaitstava ruumiosa määramisel peab kasutama ainult metallvälgupüüdurite tegelikke füüsilisi mõõtmeid. Välgupüüdurite süsteemi paigutust loetakse heaks sel juhul, kui kogu kaitstav ehitis asub välgupüüdurite süsteemi kaitsetsoonis. [3]

Kõrghoonete puhul tuleb arvestada ka ehitist küljele tabada võivate välgulöökidega. Ehitiste puhul, mille kõrgus jääb alla 60 m, on uuringud näidanud et väikese amplituudiga välgulöökidest tõenäosus sellise kõrgusega ehitiste vertikaalsetesse osadesse küljelt on piisavalt väike ja neid ei ole vaja arvestada. Ehitisi kõrgusega üle 60 m võivad välgud tabada ka küljele, eriti teravikesse, nurkadesse ja pindade servadesse. Kuna kõrgehitisi tabab küljelt ainult mõni protsent kõigist välkudest, on nendest välkudest tingitud risk üldiselt madal. Lisaks on selliste välkude parameetrid oluliselt madalamad võrreldes välkudega ehitise tippu, kuid elektri- ja elektroonikaseadmed seinte välispinnal võivad hävida isegi väikese voolu tippväärtusega välgulöökidest. [3]

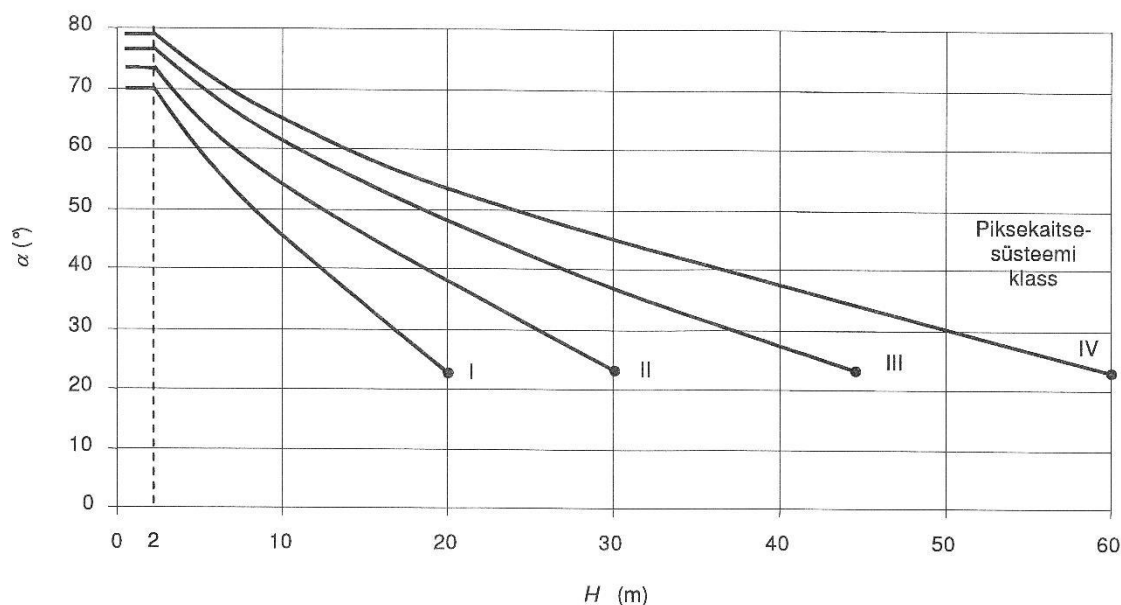
Välgupüüdurite süsteemi asukoht määratakse ühe või mitme standardis EVS-EN 62305 heakskiidetud meetodi kohaselt. Nendeks meetoditeks on:

- 1) kaitsenurga meetod;
- 2) veereva sfääri meetod ja
- 3) võrkmeetod.

Veereva sfääri meetod on kasutatav kõikidel juhtudel. Tasaste pindade kaitsmisel on sobivaks võrkmeetod ning lihtsa kujuga hoonete puhul kaitsenurga meetod, kuid sellele on seatud piirangud välgupüüdurite kõrguse osas. Kaitsenurga, veereva sfääri raadiuse ja võrgu silma mõõtmete väärtused igale piksekaitsesüsteemi klassile on toodud tabelis 2.4 ja joonisel 2.1.

Tabel 2.4. Piksekaitsesüsteemi klassile vastavad veereva sfääri raadiuse, võrgu silma suuruse ja kaitsenurga suurimad väärtused [3]

Piksekaitsesüsteemi klass	Kaitsemeetod		
	Veereva sfääri raadius r m	Võrgu silm w_m m	Kaitsenurk α°
I	20	5×5	Vastavalt joonisele 2.1
II	30	10×10	
III	45	15×15	
IV	60	20×20	

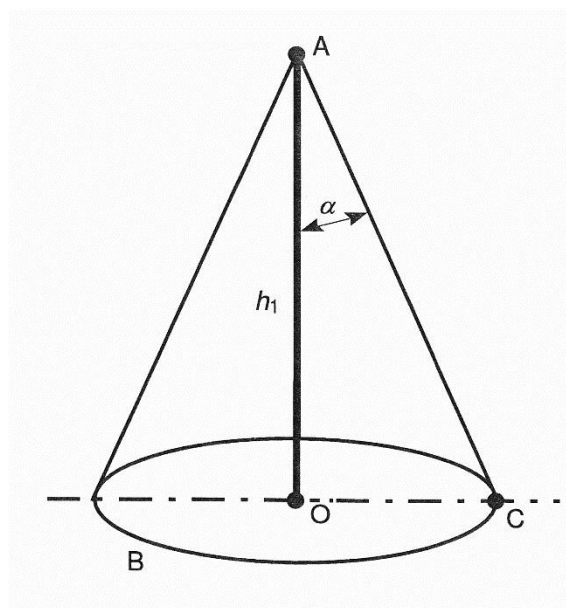


Joonis 2.1. Piksekaitsesüsteemi klassile vastav kaitsenurk α [3].

Joonise 2.1 lugemisel tuleb silmas pidada, et:

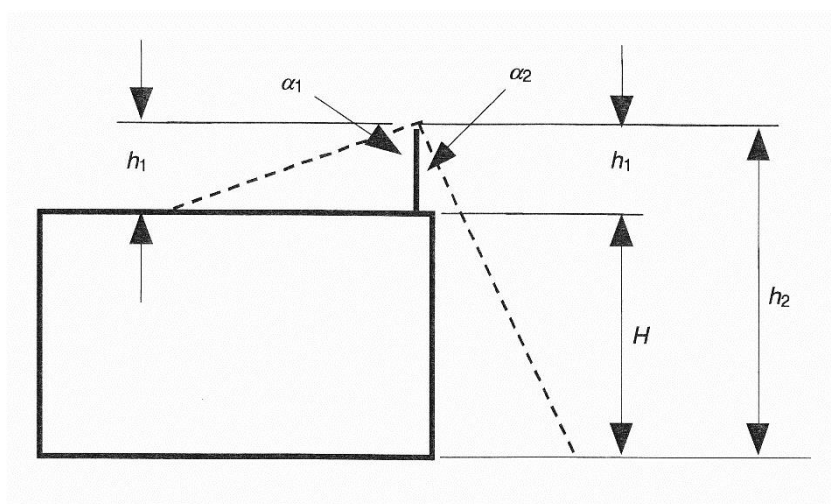
- H on valgupüüdurite kõrgus kaitstavast nullnivoost arvates;
- H väärtustel alla 2 m nurk ei muutu;
- joonis ei ole kasutatav kaugemal märgiga • tähistatud väärtustest. Edasi on kasutatavad ainult veereva sfääri meetod ja võrkmeetod.

Kaitsenurga meetodil valgupüüdurite süsteemi paigutamisel peetakse vertikaalse piksevarda kaitsetsoonina silmas pöördkoonust, mille tipp asub piksevarda teljel ja on ühtne piksevarda tipuga. Koonuse tipu poolnurk ehk kaitsenurk α ja piksevarda kõrgus h_1 sõltuvad piksekaitsesüsteemi klassist. Vertikaalse piksevarda kaitsetsooni määratlus on graafiliselt toodud joonisel 2.2.



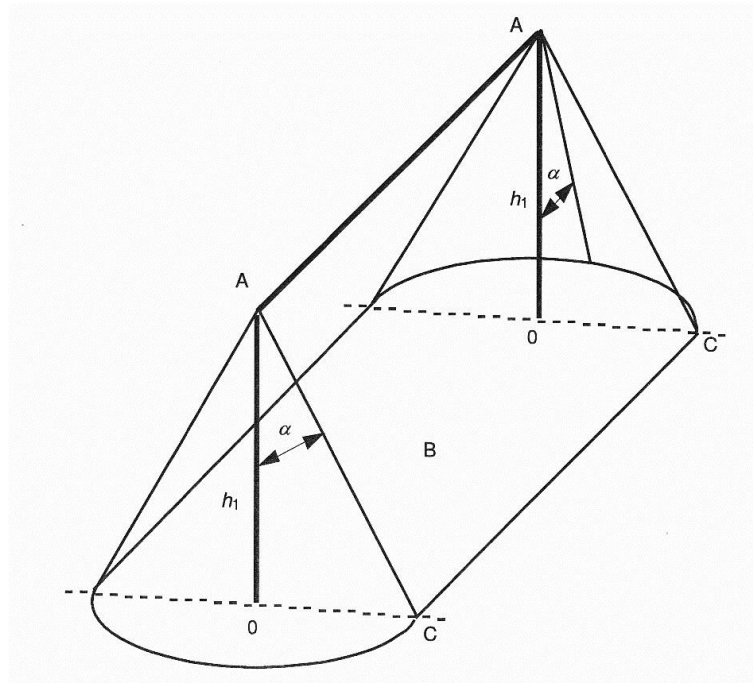
Joonis 2.2. Vertikaalse piksevarda kaitsetsooni määratlus [3]. A – piksevarda tipp, B – kaitstav aluspind, OC – kaitsetsooni raadius, h_1 – kaitstava ala aluspinnast ülesse suunduva piksevarda kõrgus, α – piksekaitseklassile vastav kaitsenurk (leitav tabelist 2.4)

Piksevarda, paigaldatuna kaitstava ehitise katusele, kaitsetsoon on näidatud joonisel 2.3. Sel juhul kaitsenurk α_1 vastab välgupüüduri kõrgusele h_1 kaitstava katusepinna suhtes ning kaitsenurk α_2 vastab kõrgusele $h_2 = h_1 + H$, kus aluspinnaks on maapind. Kaitsenurk α_1 on seotud kõrgusega h_1 ja kaitsenurk α_2 kõrgusega h_2 .



Joonis 2.3. Katusele paigaldatud vertikaalse piksevarda kaitsetsoon [3]. h_1 – piksevarda füüsikaline kõrgus

Rõhtjuhtpüüduriga ehk trosspüüduriga kaitstud tsoon määratletakse rõhtjuhiga kokkulangevate tippudega virtuaalsetest vertikaalvarrastest kooste alusel, nagu näidatud joonisel 2.4.



Joonis 2.4. Rõhtjuht(tross-)püüduriga süsteemi kaitsetsoon [3]. A – virtuaalse piksevarda tipp, B – rõhtjuhiga kaitstav aluspind, OC – virtuaalse piksevarda kaitsetsooni raadius, h_1 – kaitstava ala aluspinnast ülesse suunduva virtuaalse piksevarda kõrgus, α – piksekaitseklassile vastav kaitsenurk (leitav tabelist 2.4)

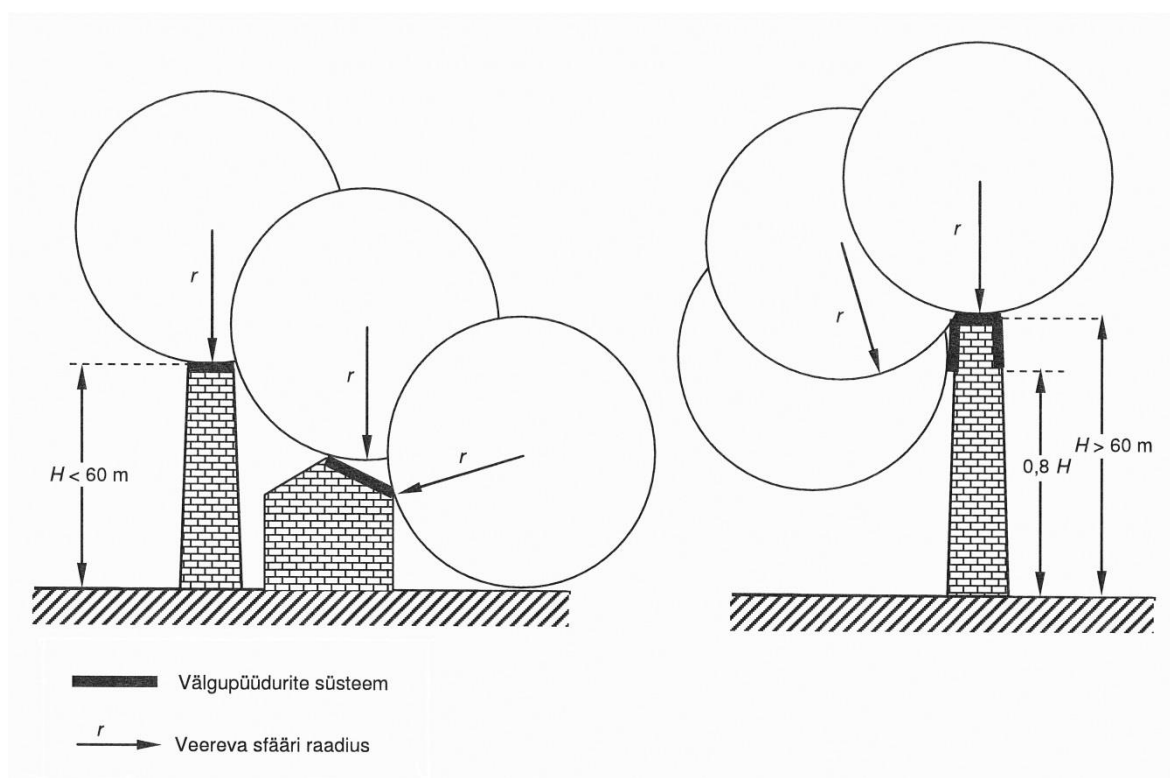
Välgupüüdurite süsteemi paigutamisel veereva sfääri meetodil on püüdurite süsteemi asetus õige juhul, kui ükski ehitise punkt ei ole kontaktis piksekaitseklassist sõltuva sfääri raadiusega r , kui see sfäär veereb ehitise ümber ja tipus kõigis võimalikes suundades. Sel viisil puudutab sfäär ainult välgupüüdurite süsteemi. [3]

Ehitistesse, mille kõrgus ületab veereva sfääri raadiuse r , võivad toimuda välgulahendused ka ehitise küljele. Ehitise iga külgpunkt, mida veerev sfäär puudutab, võib olla potentsiaalne välgulöögi tabamispunkt, kuid välgutabamuse tõenäosus kuni 60 m kõrgete ehitiste küljele on siiski tühine. [3]

Kõrgemate ehitiste puhul tabavad välgulöögid pigem ehitise tippu, horisontaalsuunalisi eenduvaid servi ja ehitise nurki ning ehitise külgi tabab kõigest mõni protsent välgulöökidest. [3]

Erinevad vaatlusandmed näitavad, et kõrgehitiste külgi tabavate välgulöökide tõenäosus väheneb kiiresti koos maapinnalt mõõdetud tabamispunkti kõrgusega. Selle tõttu võib kõrgehitiste ülaossa, tüüpiliselt 1/5 ulatuses ehitise üldkõrgusest, kaaluda külgmise välgupüüdurite süsteemi paigaldamist. Sellisel juhul kasutatakse veereva sfääri meetodit ainult välgupüüdurite süsteemi paigutamiseks ehitise ülaossa. [3]

Veereva sfääri meetodil välgupüüdurite süsteemi projekteerimine on toodud joonisel 2.5.



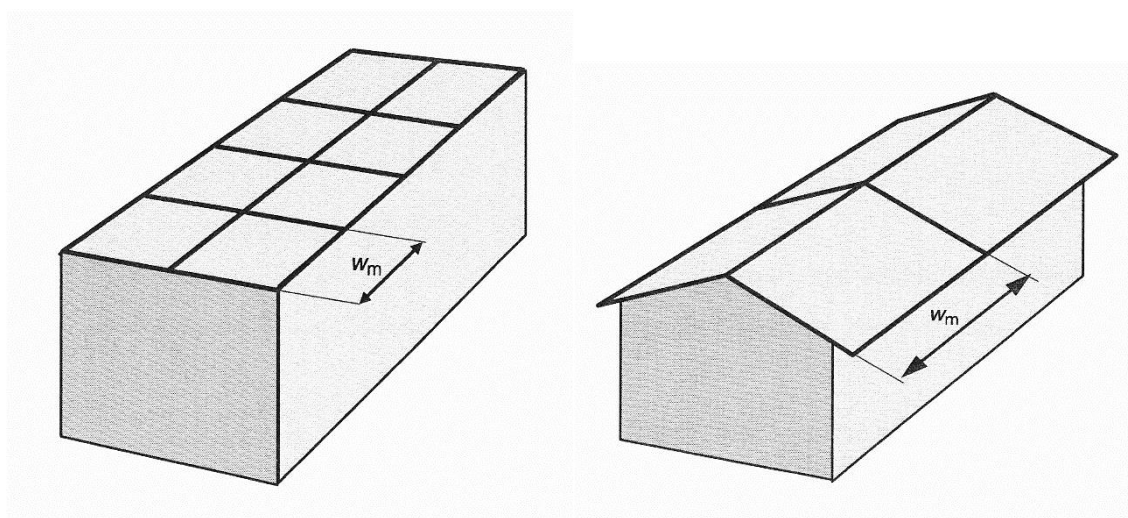
Joonis 2.5. Välgupüüdurite süsteemi projekteerimine veereva sfääri meetodil [3].

Võrkmeetodil lamedate pindade kaitsmisel tuleb silmas pidada, et võrk kaitseb kogu pinda siis, kui on täidetud järgmised tingimused [3]:

- välgupüüdurjuhid on paigutatud katuse servajoonele, katusest väljaulatuvatele rajatistele ja piki katuseharja, kui katuse kalle on suurem kui 1/10;
- välgupüüdurvõrgu silma mõõtmed ei ole suuremad tabelis 2.2 toodud väärtustest;

- c) välgupüüdurite süsteemi võrk on ehitatud selliselt, et välguvoolule on alati olemas vähemalt kaks eraldi metallrada maandurini;
- d) ükski metallpaigaldis ei ulatu välgupüüdurite süsteemi kaitsetsoonist välja;
- e) välgupüüduri juhid järgivad, kui vähegi võimalik, lühimat ja sirgeimat rada.

Võrkpüüduri kasutamise näited lame- ja viilkatusel eraldamata piksekaitsesüsteemi korral on esitatud joonisel 2.6.



Joonis 2.6. Eraldamata piksekaitsesüsteemi võrkpüüdur lame- ja viilkatusel ehitisel [3].

w_m – piksekaitseklassile vastav välgupüüdurvõrgu silm (leitav tabelist 2.4)

Võrku moodustavate kaitsejuhtide kaitsetsoon määratletakse võrgu moodustanud üksikjuhtide kaitsetsoonide kombinatsiooni alusel. Kaitsetsoonide näited eraldamata ja eraldatud piksekaitsesüsteemi korral on toodud käesoleva töö lisades 4 ja 5.

Võrkmeetodi puuduseks eraldamata piksekaitsesüsteemi puhul on asjaolu, et välg võib tabada katust võrgusilma keskel. Selle vältimiseks peaks püüdurid tõstma katuse pinnast kõrgemale. Teoreetiliselt ei saa katuse pinnal asuvat võrkpüüdurit kuidagi lugeda efektiivseks. Ometi leiab antud lahendus praktikas küllalt laialdast kasutamist ning suuri probleeme sellega pole täheldatud. Sellel, miks see madal efektiivsus praktikas esile ei pääse, on mitu põhjust. Peamiseks põhjuseks on see, et enamasti tabab välg püüdurit, mis on katuse servas. Teiseks oluliseks põhjuseks saab tuua selle, et tihti on lame katus ümbritsetud välgupüüdurina toimiva rinnatise ehk parapetiga, mis vähendab katuse pinna tabamise tõenäosust umbes 5-10 korda. [5]

Nõuetekohase välgupüüdurite süsteemi või nende kombinatsiooni valib piksekaitse-süsteemi projekteerija igal konkreetsel juhul eraldi, võttes arvesse kaitstava ehitise omadusi, materjale ja arhitektuuri. Enamlevinud on võrkpüüdurite kasutamine. Seda põhjusel, et enamus hooneid, millele rakendub piksekaitsesüsteemi paigaldamise kohustus, on erinevad tööstushooned, ning viimased ehitatakse valdavas enamuses lame- või madalakaldeliste katustega. Kombineerituna võrkpüüdurite süsteemiga kasutatakse piksevardaid seadmete kaitseks, mis tõusevad katuse pinnast kõrgemale (nt antennid, metallkorstnad jms).

2.1.3. Allaviikude süsteem

Kahjustuste vähendamiseks, mida võib tekitada piksekaitsesüsteemis voolav välguvool, peavad allaviigud olema paigutatud selliselt, et välguvoolu teel tabamispunktist maani oleks täidetud järgmised tingimused [3]:

- a) välguvoolu maasse juhtimiseks peavad olema mitmed rööbitised voolurajad;
- b) vooluradade pikkus peab olema viidud minimaalseks;
- c) tagatud peab olema potentsiaaliühtlustus ehitise voolujuhtivate osadeni.

Paigaldades võimalikult palju alaviike võrdsetele vahekaugustele piki kaitstava ehitise perimeetrit koos omavahel ühendatud kontuurjuhtidega, väheneb ohtliku sädeluse võimalus ja hõlbustub sisepaigaldiste kaitse. [3]

Allaviikude ja horisontaalsete kontuurjuhtide tüüpilised vahekaugused on toodud tabelis 2.5.

Tabel 2.5. Allaviikude ja kontuurjuhtide vahelised tüüpilised vahekaugused piksekaitse-süsteemi klassi kohaselt [3]

Piksekaitsesüsteemi klass	Tüüpilised vahekaugused m
I	10
II	10
III	15
IV	20

Kui tegemist on eraldatud piksekaitsesüsteemiga, peab allaviikude paigutus olema alljärgneva kohane [3]:

1. Kui välgupüüdur koosneb varrastest, mis asuvad eraldiseisvatel mastidel (või ühel mastil), mis ei ole valmistatud metallist või kokkuühendatud terasarmatuuriga betoonist, peab igal mastil olema vähemalt üks allaviik. Metallist või kokkuühendatud terasarmatuuriga betoonist valmistatud mastidel ei ole täiendavad allaviigud nõutavad.
2. Kui välgupüüdurina kasutatakse rõhtjuhtmeid (või üht juhet), on igale kandekonstruktsioonile nõutav vähemalt üks allaviik.
3. Kui välgupüüduri moodustab juhtidest võrk, peab vähemalt iga kandva juhtme lõpus olema üks allaviik.

Eraldamata piksekaitsesüsteemis peab olema minimaalselt kaks allaviiku. Allaviigud paigaldatakse jaotatult piki kaitstava ehitise perimeetrit, arvestades seejuures nii arhitektuurseid kui praktilisi piiranguid.

Eelistatult paigutatakse allaviigud piki kaitstava hoone perimeetrit võrdsetele vahekaugustele. Allaviikude vahekauguste määramisel tuleb juhendada eelpool toodud tabelis 2.3 esitatud väärtustest. Kus see on ehitustehniliselt võimalik, tuleb allaviik paigaldada ehitise igale esiletõusvale nurgale.

Allaviikude paigaldamisel peab moodustuma välgupüüdurite võimalikult sirgjooneline pikendus. Allaviigud tuleb paigaldada sirgelt ja vertikaalselt nii, et moodustuks lühim ja kõige sirgjoonelisem rada välguvoolu juhtimiseks maasse.

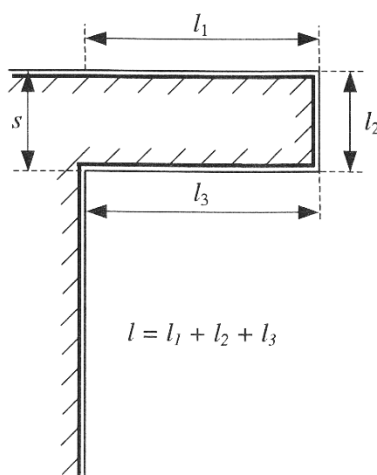
Välgupüüdurid ja allaviigud peavad olema kinnitatud võimalikult kindlalt, et elektrodünaamilised ja juhuslikud mehaanilised jõud nagu vibratsioon, lumekoormus, soojuspaisumine jms, ei põhjustaks juhtide lõdvenemist või katkemist. Juhtide ja piksevarraste ühendused katusel võivad olla katuse külge kinnitatud kas juhtivate või mittejuhtivate klambrite või distantshoidikutega. Juhte võib kinnitada ka seina pinnale kui seina materjal ei ole süttiv. Juhtide kinnituspunktide soovitatavad vahekaugused on esitatud tabelis 2.6.

Tabel 2.6. Juhtide kinnituspunktide keskmete vahelised soovitatavad kaugused [3]

Paigutus	Kinnituspunktide kaugused lint- kiud- ja lõõmutatud ümarjuhtidele mm	Kinnituspunktide kaugused ümaratele massiivjuhtidele mm
Horisontaalsed juhid horisontaalsetel pindadel	500	1000
Horisontaalsed juhid vertikaalsetel pindadel	500	1000
Vertikaalsed juhid kuni 20 m kõrgusel maast	1000	1000
Vertikaalsed juhid maast 20 m kõrgusel ja kõrgemal	500	1000

Tabelis 2.6 toodud vahekauguste väärtused ei kehti sisseehitatud kinnituste korral, kuna need võivad nõuda eraldi käsitlemist. Samuti tuleb arvestada keskkonnatingimustega (näiteks tuulekoormus) ning vajalikuks võivad osutuda teistsugused kinnituste vahekaugused. [3]

Allaviikude paigaldamisel tuleb vältida aasade tekkimist, kuid kus see on võimatu, peavad juhi kahe punkti vaheline kaugus s , mis on mõõdetud risti üle vahemiku, ja juhi pikkus l nende punktide vahel (joonis 2.7) vastama eraldus-vahemikule kehtestatud nõuetele. Teisisõnu peab olema tagatud piisav kahe juhtivosa vaheline kaugus, mille puhul ei saaks tekkida ohtlikku sädelust. [3]



Joonis 2.7. Aas allaviigus [3].

Allaviike ei tohi paigutada vihmaveerennidesse või –torudesse isegi siis, kui need on kaetud isoleermaterjaliga, kuna niiskus rennides ja torudes tekitab allaviikude intensiivse korrosiooni. Uste ja akende läheduses tuleb allaviigud paigutada selliselt, et oleks tagatud nõutud eraldusvahemik. [3]

Eraldamata piksekaitsesüsteemi korral võib allaviigud paigaldada alljärgnevaid nõudeid järgides [3]:

- a) allaviike võib paigutada seina pinnale, kui sein on tehtud mittepõlevast materjalist;
- b) kui sein on valmistatud kergesti süttivast materjalist, võib allaviike paigutada seina pinnale eeldusel, et välguvoolust põhjustatud temperatuuri tõus ei ole seina materjalile ohtlik;
- c) kui sein on valmistatud kergesti süttivast materjalist ja temperatuuri tõus on ohtlik, tuleb allaviigud paigaldada nii, et nende kaugus seinani oleks alati suurem kui 0,1 m (kinnitusklambrid võivad olla seinaga kontaktis);
- d) kui allaviigu piisavat kaugust süttiva materjalini ei ole võimalik tagada, peab juhi ristlõige olema mitte väiksem kui 100 mm².

Allaviikude ühendamine maanduri maandusklemmidega tuleb igas ühenduspunktis teostada katseliitmiku abil. Seda ei teha juhul, kui loomulikud allaviigud on ühenduses vundamendimaanduselektroodidega. Mõõtmiste eesmärgil peab liitmik olema avatav tööriista abil. Tavakasutuses peab liitmik olema suletud.

2.1.4. Maandurite süsteem

Välguvoolu hajutamisel maasse ja samas minimeerides mis tahes potentsiaalselt ohtlikke liigpingeid, on maandurite süsteemi kujul ja mõõtmisel väga oluline roll. Sobivad maandurite tüübid valivad piksekaitsesüsteemi projekteerija ja paigaldaja. Piksekaitse seisukohalt on ehitise oma integreeritud maandurite süsteem eelistatavam ja sobiv kõikidel eesmärkidel (so piksekaitsesele, elektrivõrgule ja telekommunikatsioonisüsteemile). [3]

Maandurite süsteem peab olema ühendatud välgupotentsiaaliühtlustusega. Kui kaitstaval ehitisel on mitu maandussüsteemi, mida ei saa omavahel kokku ühendada, nt erinevate metallide korral, peab need süsteemid ühendama kasutades isoleerivaid kaitsesädemikke. Kui erinevast materjalist valmistatud maandussüsteemid on omavahel kokku ühendatud, võivad tekkida tõsised korrosiooniprobleemid. [3]

Maandurid tuleb paigutada ohutusse kaugusesse kaitstava ehitise sisse- ja väljapääsudest ning kõrvalistest juhtivatest detailidest pinnases (kaablid, metalltorud jms). Peab

rakendama erilisi ettevaatusabinõusid kaitseks ohtlike sammupingete eest maandurite võrgu lähedal, kui see võrk on paigaldatud üldsusele ligipääsetavale alale. [3]

Üldiselt on soovitatav madal maandustakistus – kui võimalik, siis madalsagedusega mõõtmisel madalam kui $10\ \Omega$. Üldise maandustakistuse soovitatav väärtus $10\ \Omega$ on üsna tagasihoidlik ehitiste jaoks, kus on tehtud otsene potentsiaaliühtlustus. Üldiselt peab maandustakistuse väärtus olema nii väike kui võimalik, eriti plahvatada võivaid materjale sisaldavate ohtlike hoonete puhul. Kõige olulisemaks meetmeks loetakse siiski potentsiaaliühtlustus. [3]

Maandurite tüüp ja süvistussügavus peavad olema sellised, et korrosiooni ning pinnase kuivamise ja külmumise mõju oleks minimaalne ja tegelik maandustakistus seega stabiilne. On soovitatud, et vertikaalse külmunud pinnase korral ei arvestataks maanduri esimest poolt meetrit efektiivse maandurina. Süvamaandurid võivad olla efektiivsed erijuhtudel, kui pinnasetakistus väheneb sügavuse suurenedes ja kus madala takistusega substraati leidub suuremates sügavustes rohkem kui sellises sügavuses, kuhu varrasmaandurid tavaliselt süvistatakse. [3]

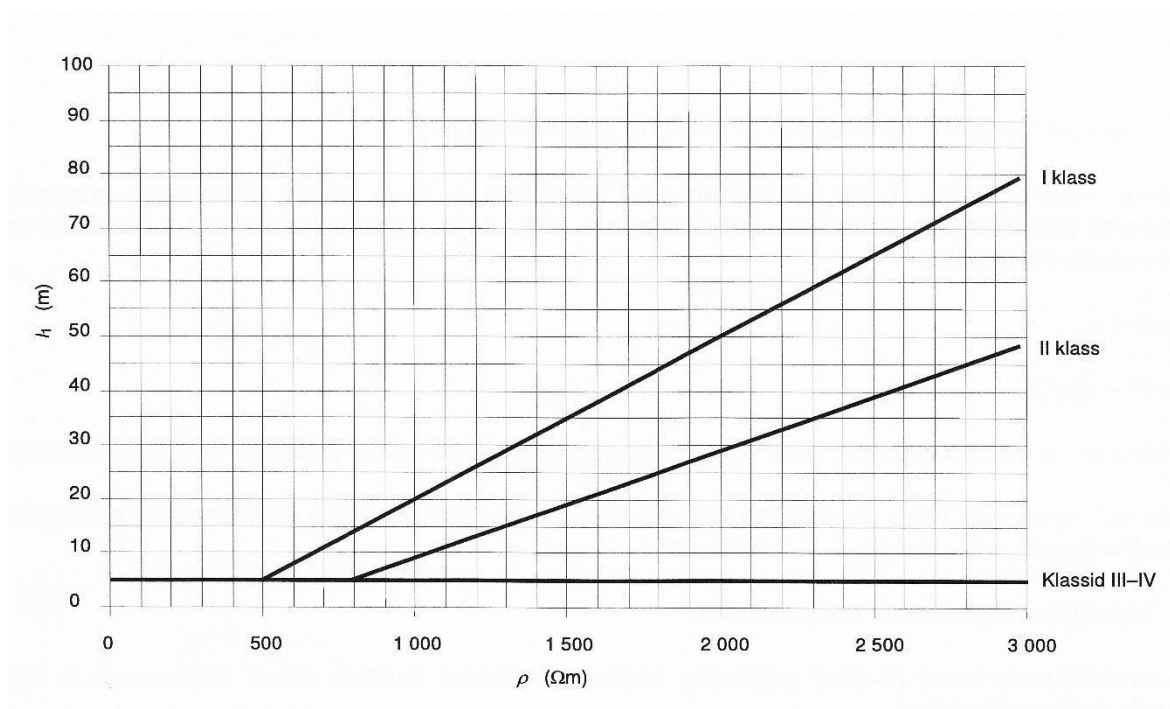
Kasutades maandurina betooni metallarmatuuri, peab erilist tähelepanu pöörama liitekohtadele, et ära hoida betooni mehaaniline lõhenemine. Kui metallarmatuuri kasutatakse peale selle ka kaitsemaandusena, peab varraste jämeduse ja ühenduste suhtes rakendama tõsisemaid meetmeid. Sellisel juhul tuleb kaaluda suuremate mõõtmetega armatuurvarraste kasutamist. Piksekaitsemaanduse juures peab kogu aeg silmas pidama vajadust kasutada võimalikult lühikesi ja sirgeid ühendusi. Eelpingestatud betooni korral tuleb tähelepanu pöörata välgu lahendusvoolu läbimise tagajärgedele, kuna see võib põhjustada vastuvõetamatuid mehaanilisi pingeid. [3]

Maandurite süsteemides on kasutusel kaks põhilist maandurite paigaldusviisi – tüüp A ja tüüp B.

A-tüüpi paigaldis saadakse kaitstavast ehitisest väljapoole asetatud horisontaalsete või vertikaalsete kõigi allaviikude või vundamendimaanduselektroodide külge ühendatud maanduselektroodidega, mis ei moodusta suletud silmust. Sellises maanduspaigaldises

peab vähim maandurite arv olema iga allaviigu kohta üks ja kogu piksekaitsesüsteemi kohta vähemalt kaks.

Maanduselektroodide pikkus sõltub pinnase eritakistusest. Mida suurem on pinnase eritakistus, seda pikemad peavad olema maanduselektroodid. Iga allaviigu alaosas asuva maanduselektroodi minimaalne pikkus on horisontaalelektroodidel l_I ja vertikaal- või kaldelektroodidel $0,5 l_I$, kus l_I on joonisel 2.8 näidatud horisontaalelektroodide vähim pikkus sõltuvalt pinnase eritakistusest ρ vastavalt nõutavale piksekaitseklassile. Kombineeritud (vertikaalsete või horisontaalsete) elektroodide puhul tuleb silmas pidada kogupikkust. Piksekaitseklasside III ja IV maanduselektroodi vähim pikkus ei sõltu pinnase eritakistusest. Maanduselektroodi vähimaks pikkuseks on sel juhul horisontaalelektroodidel 5 m ja vertikaalelektroodidel 2,5 m. [3]



Joonis 2.8. Iga maanduselektroodi minimaalne pikkus l_I piksekaitseklassi kohaselt [3].

Joonisel 2.8 määratletud minimaalsete pikkustega võib mitte arvestada juhul, kui on saavutatud maandurite süsteemi kogutakistus alla 10Ω (interferentsi vältimiseks mõõdetud võrgusagedusest ja selle täisarvkordsetest erinevatel sagedustel). [3]

Kui eelnimetatud nõudeid ei õnnestu täita, peab kasutama B-tüüpi maanduspaigaldist. Seda tüüpi paigaldis saadakse kaitstavat ehitist väljastpoolt ümbritseva kontuurjuhiga või

suletud silmust moodustava vundamendimaanduriga. Kontuurjuht peab olema pinnasega kontaktis vähemalt 80 % ulatuses oma kogupikkusest. B-tüüpi maanduselektroodid võib ühendada ka võrguks.

Kontuurmaanduselektroodi (või vundamendimaanduri) korral ei tohi kontuurmaanduselektroodiga (või vundamendimaanduriga) suletud pinna keskmine raadius r_e olla väiksem kui l_I [3]:

$$r_e \geq l_I, \quad (2.1)$$

kus l_I on toodud joonisel 2.8 piksekaitseklasside I, II, III ja IV kohaselt.

Kui nõutav väärtus l_I on suurem vastuvõetavast väärtusest r_e , tuleb lisada täiendavaid horisontaalseid või vertikaalseid (või kaldseid) elektroode individuaalsete pikkustega l_r (horisontaalne) ja l_v (vertikaalne) vastavalt järgnevatele valemitele [3]:

$$l_r = l_I - r_e; \quad (2.2)$$

$$l_v = \frac{(l_I - r_e)}{2}. \quad (2.3)$$

On soovitatav, et elektroodide arv ei oleks väiksem allaviikude arvust ning nende vähim arv oleks kaks. Täiendavad elektroodid tuleb ühendada kontuurelektroodi punktidesse, kuhu on ühendatud allaviigud, ja kui see on võimalik, siis üksteisest võrdsetele vahekaugustele.

A-tüüpi paigaldise maanduselektroodid peab paigaldama selliselt, et nende ülemine ots oleks vähemalt 0,5 m sügavusel maapinnas, ning et elektroodid oleksid üksteise suhtes asetatud nii võrdsetele kaugustele kui võimalik, et minimeerida pinnase kaudu elektrilise sidestumise võimalust. B-tüüpi paigaldise kontuurmaanduselektrood tuleks kaevata vähemalt 0,5 m sügavusele ja ligikaudu 1 m kaugusele kaitstava ehitise välisseintest.

Maanduselektroodide süvistussügavus ja tüüp peab olema valitud selliselt, et korrosiooni ning pinnase kuivamise ja külmumise mõju oleks võimalikult väike. Sel moel on võimalik stabiliseerida arvutuslikku maandustakistust.

2.1.5. Kaitsemeetmed puute- ja sammupingete vastu

Teatud tingimustes võib ilmnedä puute- ja sammupingetega vigastumise oht piksekaitsesüsteemi allaviikude läheduses isegi siis, kui piksekaitsesüsteem on projekteeritud ja ehitatud nõuete kohaselt.

Ohu vähenemiseks vastuvõetavale tasemele peab olema täidetud üks järgmistest tingimustest [3]:

- a) tavaoludes ei ole inimesi allaviikudele lähemal kui 3 meetrit;
- b) allaviikude loomulike osadena käsitleda võidavaid allaviike on vähemalt 10;
- c) pinnase pindmise kihi kontaktakistus mitte kaugemal kui 3 meetrit allaviigust ei ole väiksem kui 100 kΩ.

Isoleermaterjali kiht, näiteks 5 cm paksune asfaldikiht (või 15 cm paksune killustikukiht), üldiselt vähendab sammupingete tekkimise ohu vastuvõetavale tasemele. [3]

Kui ükski eelpool nimetatud tingimustest ei ole täidetud, peab elusolendite puute- ja sammupingega kahjustamise vastu võtma kasutusele kaitsemeetmed.

Kaitstes elusolendeid puutepingega kahjustamise vastu eeldatakse, et pingevaldis allaviigu isolatsioon tagab 1,2/50 µs impulsile pingetaluvuse 100 kV, nt kasutades vähemalt 3 mm paksust võrkpolüetüleenit. Elusolendite sammupingega kahjustamise vastu on tõhusaim meede potentsiaalitasanduse võrkmaandussüsteemi abil. Tõhusaks vahendiks nii puute- kui sammupingete ohu minimeerimiseks on füüsilised tõkked ja hoiatussildid, kuna need vähendavad allaviikude puudutamise ja ohtlikku piirkonda (kuni 3 m allaviigust) sattumise tõenäosust.

2.2. Piksekaitsesüsteem

Piksekaitsesüsteemi ülesandeks on kaitstava ehitise sees ära hoida piksekaitses välissüsteemis või ehitise muudes juhtivates osades kulgeva välguvoolu mõjul tekkida võiv ohtlik sädelus.

Ohtlik sädelus võib toimuda piksekaitse välissüsteemi ja kaitstava ehitise muude komponentide vahel, nagu [3]:

- a) metallpaigaldised ehitise konstruktsioonis või ehitise sees;
- b) ehitise sisesüsteemid ehk ehitise sees paiknevad elektri- ja elektroonikasüsteemid;
- c) ehitisega ühendatud välised juhtivad osad ja liinid.

Ohtliku sädeluse ärahoidmiseks eri osade vahel kasutatakse valgupotentsiaaliühtlustust või osadevahelist elektriisolatsiooni. Eraldi teema on sisesüsteemide kaitse liigpingete eest, mida käsitleb piksekaitse standardisarja EN 62305 neljas osa „Ehitiste elektri- ja elektroonikasüsteemid”.

2.2.1. Vägupotentsiaaliühtlustus

Potentsiaaliühtlustuse saavutamiseks ühendatakse piksekaitsesüsteem kaitstava ehitise metallpaigaldiste, sisesüsteemide ning ehitisega ühendatud väliste juhtivate osade ja liinidega. Sisesüsteemidele rajatud välgupotentsiaaliühtlustuse puhul võib osa välguvoolust voolata neisse süsteemidesse ning selle efektiga tuleb arvestada.

Piksekaitse välissüsteemi ja ehitise sisesüsteemide kokkuühendamise vahenditeks võivad olla: a) potentsiaaliühtlustusjuhid kohtades, kus elektrilise katkematuse tagamiseks puuduvad loomulikud ristühendused; b) liigpingekaitsevahendid kohtades, kus otseühendused potentsiaaliühtlustusjuhtide külge ei ole soovitatavad; c) isoleerivad sädemikud kohtades, kus otseühendused ristühendustega ei ole lubatavad. [3]

Välgupotentsiaaliühtlustus peab olema integreeritud ja koordineeritud ehitise muu potentsiaaliühtlustusega. Liigpingekaitsevahendite ehk liigpingepiirike paigaldamisel peab olema tagatud neile võimalikult hea juurdepääs, et neid oleks võimalik kontrollida. Oluline on välgupotentsiaaliühtlustuse tegemise viis läbi arutada telekommunikatsiooni-võrkude, elektrivõrkude ja teiste operaatoritega, kuna siin võivad esineda üksteisele vasturääkivad nõuded. [3]

Kuna piksekaitsesüsteemi paigaldamine võib mõjustada ka kaitstavast ehitisest väljapoole jäävaid metallkonstruktsioone, tuleb sellega taoliste süsteemide projekteerimisel arvestada ning vajalikuks võib osutada ka väliste metallkonstruktsioonide välgupotentsiaaliühtlustus.

Metallpaigaldiste välgupotentsiaaliühtlustuse teostamisel eraldatud piksekaitse välissüsteemide puhul peab välgupotentsiaaliühtlustuse looma ainult nullnivool.

Eraldamata piksekaitse välissüsteemide korral tuleb välgupotentsiaaliühtlustus paigaldada järgmistesse kohtadesse [3]:

- a) keldrikorrusele või ligikaudu maa tasandile. Ristühendusjuhid tuleb ühendada potentsiaaliühtlustuslatiga, mis on ehitatud ja paigaldatud kontrollimiseks lihtsat juurdepääsu võimaldaval viisil ning potentsiaaliühtlustuslatt peab olema ühendatud maandussüsteemiga. Suurtes ehitistes (tüüpiliselt pikemad kui 20 m) võib olla paigaldatud enam kui üks potentsiaaliühtlustuslatt eeldusel, et need on omavahel ühenduses;
- b) sinna, kus isolatsiooninõuded ei ole täidetud.

Välgupotentsiaaliühtlustuse ühendused tuleb teha nii otse ja sirgelt kui võimalik. Kui välgupotentsiaaliühtlustus on rajatud ehitise juhtivatele osadele, võib osa välguvoolust voolata ehitisse ning selle efektiga tuleb arvestada. Erinevaid potentsiaaliühtlustuslatte omavahel ja latte maandurite süsteemiga ühendavate juhtide ning ehitise sisemisi metallpaigaldisi potentsiaaliühtlustuslatiga ühendavate ristühenduste vähimad ristlõikepindalad on toodud vastavalt tabelites 2.7 ja 2.8.

Tabel 2.7. Erinevaid potentsiaaliühtlustuslatte ühendavate või potentsiaaliühtlustuslatte maandussüsteemiga ühendavate juhtide vähimad mõõtmed [3]

Piksekaitsesüsteemi klass	Materjal	Ristlõikepindala mm ²
I kuni IV	Vask	16
	Alumiinium	25
	Teras	50

Tabel 2.8. Sisemisi metallpaigaldisi potentsiaaliühtlustuslattidega ühendavate juhtide vähimad mõõtmed [3]

Piksekaitsesüsteemi klass	Materjal	Ristlõikepindala mm ²
I kuni IV	Vask	6
	Alumiinium	10
	Teras	16

Kui kaitstava ehitise gaasi- või veetorustikku on paigaldatud isoleervahetükid, peab need kokkuleppel vee- ja gaasivarustajaga sildama spetsiaalselt selleks otstarbeks ettenähtud isoleerivate kaitsesädemikega. Isoleerivad kaitsesädemikud peavad olema nõuetekohaselt katsetatud ning olema järgmiste tunnussuurustega [3]:

- 1) sädemiku voolutaluvus I_{imp} peab olema suurem või võrdne võrreldes piksekaitse välissüsteemi vastavas osas voolava välguvooluga – $I_{\text{imp}} \geq k_c I$ –, kus k_c on välguvoolu jaotustegur ja I on välguvool;
- 2) sädemiku läbilöögi nimiimpulsspinge U_{RIMP} peab olema madalam torustiku osadevahelise isolatsiooni impulsstaluvusnivoost.

Välise juhtivate osade välgupotentsiaaliühtlustus peab olema tehtud kaitstavasse ehitisse sisenemise punktile nii lähedal kui võimalik. Ristühenduse juhid peavad olema võimalised taluma neid läbiva välguvoolu osa I_f , mis leitakse standardi EVS-EN 62305-1:2011 lisa E alusel. Kui vahetu ristühenduse kasutamine ei ole vastuvõetav, tuleb kasutada järgmiste omadustega isoleerivat sädemikku [3]:

- 1) sädemiku voolutaluvus I_{imp} peab olema suurem või võrdne võrreldes vaatlusaluses välises juhtivas osas voolava välguvooluga – $I_{\text{imp}} \geq I_F$;
- 2) sädemiku läbilöögi nimiimpulsspinge U_{RIMP} peab olema madalam osadevahelise isolatsiooni impulsstaluvusnivoost.

Juhul, kui potentsiaaliühtlustus on nõutav, kuid piksekaitsesüsteem ei ole nõutav, võib ühendamise eesmärgil kasutada madalpingepaigaldise maandusklemmi. [3]

Sisesüsteemide välgupotentsiaaliühtlustuse teostamisel juhul, kui sisesüsteemide juhid on ekraneeritud või paiknevad paigaldustorudes, võib piisata ainult nende ekraanide ja torude ristühendamisest. Kui sisesüsteemide juhid ei ole ekraneeritud ega paikne paigaldustorudes, peavad need olema ristühendatud läbi liigpingekaitseseadmete. TN-süsteemides peavad PE- ja PEN-juhid olema ristühendatud piksekaitsesüsteemiga otse või läbi liigpingekaitseseadme. [3]

Ristühenduste juhtidele rakenduvad samad voolutaluvusnõuded, nagu on kehtestatud isoleerivatele sädemikele metallpaigaldiste välgupotentsiaaliühtlustuse korral. Kasutatavad liigpingekaitseseadmed peavad olema järgmiste omadustega [3]:

- 1) liigpingekaitseseadme voolutaluvus I_{imp} peab olema suurem või võrdne võrreldes piksekaitse välises juhtivas osas voolava välguvooluga – $I_{\text{imp}} \geq k_c I$ –, kus k_c on välguvoolu jaotustegur ja I on välguvool;
- 2) liigpingekaitseseadme kaitsenivoo U_P peab olema madalam osadevahelise isolatsiooni impulsstaluvusnivoost.

Kui nõutav on sisesüsteemide kaitse kulglainete vastu, tuleb kasutada koordineeritud liigpingekaitset vastavalt standardile EVS-EN 62305-4.

Elektri- ja telekommunikatsiooniliinide valgupotentsiaaliühtlustusel peavad iga liini kõik juhid olema ristühendatud otse või läbi liigpingekaitseseadme. Pingestatud juhid peavad olema potentsiaaliühtlustuslatiga ühendatud ainult läbi liigpingekaitseseadme. TN-süsteemides peavad PE- ja PEN-juhid olema ristühendatud potentsiaaliühtlustuslatiga otse või läbi liigpingekaitseseadme. Kui liinid on ekraneeritud või tõmmatud metallpaigaldustorusse, peab need ekraanid ja paigaldustorud ristühendama. Kaabliekraanide või paigaldustorude ristühendused valgupotentsiaaliühtlustuseks tuleb teha nende ehitisse sisenemise punkti lähedal. [3]

Elektri- ja telekommunikatsiooniliinide valgupotentsiaaliühtlustuse ristühenduste juhtide voolutaluvusnõuded on samad, mis on kehtestatud isoleerivatele sädemikele välise juhtivate osade valgupotentsiaaliühtlustuse korral ning liigpingekaitseseadmetel peavad olema alljärgnevad omadused [3]:

- 1) liigpingekaitseseade peab olema katsetatud vooluga $I_{\text{imp}} \geq I_F$, kus I_F on liinides voolav välguvool;
- 2) liigpingekaitseseadme kaitsenivoo U_P peab olema madalam osadevahelise isolatsiooni impulsstaluvusnivoost.

Kui ehitisse sisenevate liinidega ühendatud sisesüsteeme on nõutav kaitsta kulglainete vastu, tuleb kasutada standardil EVS-EN 62305-4 kohast koordineeritud liigpingekaitset.

2.2.2. Piksekaitse välissüsteemide elektriisolatsioon

Elektriisolatsioon välgupüüduri või allaviigu ning kaitstava ehitise metallosade, metallpaigaldiste ja sisesüsteemide vahel on saavutatav nendevahelise eraldusvahemikuga s .

Eraldusvahemiku leidmise üldvalem on [3]:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \text{ (m)}, \quad (2.4)$$

kus k_i – piksekaitseklassist sõltuv koefitsient (leitav tabelist 2.9);

k_m – elektriisoleermaterjalist sõltuv koefitsient (leitav tabelist 2.10);

k_c – välguvoolu jaotustegur

l – kaugus meetrites välgupüüduri või allaviigu punktist, millest alates eraldusvahemikku silmas peetakse, kuni lähima potentsiaaliühtlustuspunktini.

Tabel 2.9. Piksekaitse välissüsteemi isolatsioon – koefitsiendi k_i väärtused [3]

Piksekaitseklass	k_i
I	0,08
II	0,06
III ja IV	0,04

Tabel 2.10. Piksekaitse välissüsteemi isolatsioon – koefitsiendi k_m väärtused [3]

Materjal	k_m^a
Õhk	1
Betoon, tellised, puit	0,5
a Kui jadamisi kasutatakse mitut isoleermaterjali, siis võetakse hea tava kohaselt madalam k_m väärtus.	

Välguvoolu jaotustegur k_c välgupüüdurite/allaviikude vahel sõltub välgupüüdurite süsteemi tüübist, allaviikude koguarvust n ning nende asukohast, ristühendatud kontuurjuhtidest ja maandurite süsteemist. Vajalik eraldusvahemik sõltub pingelangust lühimal teekonnal punktist, millest alates eraldusvahemikku silmas peetakse, maanduselektroodini või lähima potentsiaaliühtlustuspunktini. Eraldusvahemiku leidmise detailse käsitluse koos rohkete näidetega leiab standardi EVS-EN 62305-3 lisast C.

Eraldusvahemiku arvutamisel lihtsustatud käsitluse korral saab valemi 2.4 kasutamisel arvestada järgmiste tingimustega:

- 1) välguvoolu jaotustegur k_c sõltub paigaldatud allaviikudes voolava (osalise) välguvoolu tugevusest ning on leitav tabelist 2.11;
- 2) l on vertikaalne pikkus meetrites piki allaviiku punktist, millest alates eraldusvahemikku silmas peetakse, lähima potentsiaaliühtlustuspunkti.

Tabel 2.11. Piksekaitse välissüsteemi isolatsioon – koefitsiendi k_c väärtused [3]

Allaviikude arv n	k_c^a
I	0,08
II	0,06
III ja IV	0,04
a Tabeli väärtused rakenduvad kõikidele B-tüüpi maanduspaigaldistele ja A-tüüpi maanduspaigaldistele juhul, kui naaberelektroodide maandustakistus ei erine enam kui 2 korda. Kui üksikute maanduselektroodide maandustakistuste suhe on suurem kui 2, peab võtma $k_c = 1$.	

Lihtsustatud meetodi kasutamine toob standardi sõnul tavaliselt kaasa ohutumad tulemused.

2.2.3. Elektri- ja elektroonikasüsteemide kaitse üldpõhimõtted

Elektri- ja elektroonikasüsteemide rikete põhjustajaks on välgu elektromagnetiline impulss. Rike võib olla põhjustatud kas ühendusjuhtmete kaudu seadmetesse kanduvatest juhtivuslikest ja indutseeritud impulssidest või otse seadmesse tungivate kiirguslike magnetväljade mõjul.

Ehitist mõjutavad impulsid võidakse genereerida kas ehitisest väljaspool või ehitise sees. Väljastpoolt ehitist pärinevaid impulsse tekitavad sisenevaid liine või neile lähedast pinda tabavad välgulöögid ning need impulsid kanduvad samade liinide kaudu ehitises paiknevatesse elektri- ja elektroonikasüsteemidesse. Ehitise sees tekkivaid impulsse põhjustavad ehitist või sellele lähedast pinda tabavad välgulöögid. Ehitise sees tekkivad impulsid võivad olla põhjustatud ka lülitamistest, näiteks induktiivsete koormuste sisse- või väljalülitamisest. [4]

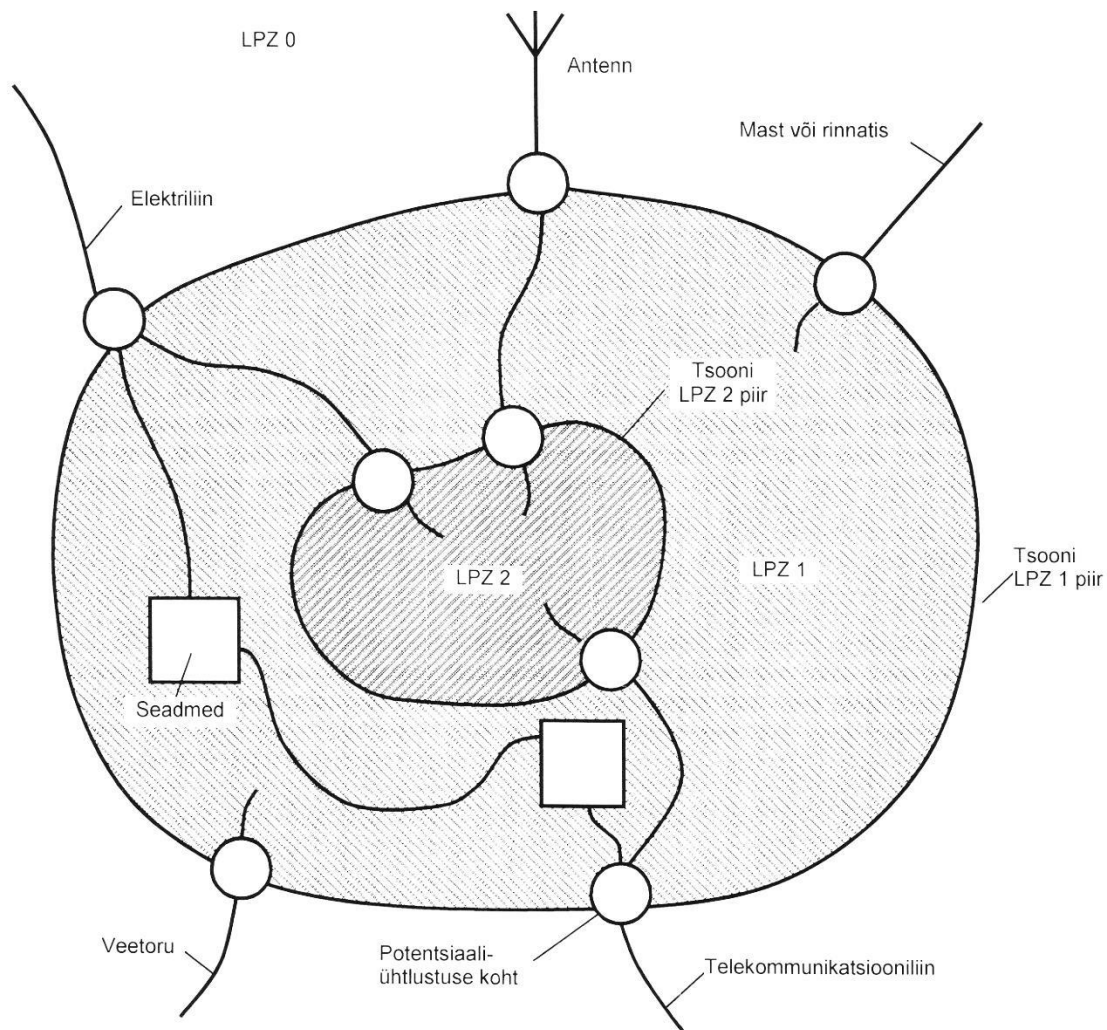
Sidestus võib tekkida erinevate mehhanismide kaudu [4]:

- a) takistuslik sidestus (näiteks kaabli kesta takistus või maandurite süsteemi maandustakistus);
- b) sidestus magnetvälja kaudu (põhjustatud näiteks elektri- ja elektroonikasüsteemi ühendusjuhtmetest moodustunud silmuste või potentsiaaliühtlustusjuhtide induktiivsuse tõttu);
- c) sidestus elektrivälja kaudu (põhjustatud näiteks vastuvõtust varrasantenniga).

Kiirguselektromagnetvälju võib tekitada nii otse välgukanalis kulgev välguvool, kui juhtides (näiteks piksekaitse välissüsteemi allaviikudes) kulgeva välguvoolu osa. [4]

Kaitse välgu elektromagnetilise impulsi eest põhineb piksekaitsetsooni (LPZ) ideel – kaitset vajavaid süsteeme sisaldava ruumi peab jagama piksekaitsetsoonideks. Nendeks tsoonideks on teoreetiliselt kindlaks määratud ruumi osad (või mingi sisesüsteemi osad), kus välgu elektromagnetilise impulsi ohtlikkus on vastavuses selles ruumiosas paiknevate sisesüsteemide taluvustasemega. Üksteisele järgnevaid tsoone iseloomustavad välgu elektromagnetilise impulsi ohtlikkuse olulised muutused. Piksekaitsetsooni piir on määratletud kasutatavate kaitsemeetmetega. [4]

Joonisel 2.9 on kujutatud ehitise sisemisteks piksekaitsetsoonideks (LPZ) jagamise näide. Kõik ehitisse sisenevad metalsed tehnovõrgud on piksekaitsetsooni LPZ 1 piiril potentsiaaliühtlustuslattice kaudu ühendatud. Lisaks on piksekaitsetsooni LPZ 2 (näiteks serveriruum) sisenevad juhtivad tehnovõrgud potentsiaaliühtlustuslatticega ühendatud ka piksekaitsetsooni LPZ 2 piiril.



Joonis 2.9. Erinevateks piksekaitsetsoonideks (LPZ) jagamise üldine põhimõte [4].

Välgu elektromagnetilise impulsi vastased põhikaitsemeetmed on [4]:

- 1) maandamine ja potentsiaaliühtlustus;
- 2) ekraneerimine ja juhistike sobiv paigaldus;
- 3) koordineeritud liigpingekaitseseadmete süsteem ja
- 4) isoleeritud sisendid.

Kaitseks otse seadmetesse tungivate kiirguslike elektromagnetiliste väljade mõju eest kasutatakse kaitsemeetmeid, mis koosnevad ruumilistest ekraanidest ja ekraneeritud juhtmetest kombineerituna seadmete ekraneerivate korpustega. Kaitsemeetmed ühendusjuhtmete kaudu seadmetesse kanduvate juhtivuslike ja indutseeritud impulsside eest koosnevad koordineeritud liigpingekaitseseadmete süsteemist. [4]

Otse seadmetesse tungivate kiirguslike elektromagnetiliste väljade mõjust põhjustatud rikkeid võib lugeda ebaolulisteks eeldusel, et seade täidab vastavas elektromagnetilise ühilduvuse tootestandardis määratletud raadiosageduse kiirgusemissiooni ja häiringukindluse katsete nõudeid. Sellise seadme kaitseks loetakse küllaldaseks koordineeritud liigpingekaitseseadmete süsteemist koosnevat välgu elektromagnetilise impulsi kaitset. [4]

Välgu elektromagnetilise impulsi kaitsemeetmed võivad olla seega projekteeritud seadmete kaitseks impulsside ja elektromagnetiliste väljade eest. Töö lisas 6 on toodud mõned kaitsemeetmete näited, kus kasutatakse piksekaitsesüsteemi, magnetilisi ekraane ja koordineeritud liigpingekaitseseadmete süsteeme.

Ka sisesüsteemide kaitse puhul tuleb esmalt määratleda nõutud piksekaitse tase. Peale piksekaitseklassi valimist ja ehitise kaitsetsoonideks jagamist tuleb teostada järgmised toimingud [4]:

- 1) tuleb ette näha maandussüsteem koos potentsiaaliühtlustusvõrgu ja maandurite süsteemiga;
- 2) sisenevate tehnovõrkude välised metallosad tuleb kas vahetult või sobiva liigpingekaitseseadme kaudu ühendada potentsiaaliühtlustusega;
- 3) sisesüsteemid tuleb ühendada potentsiaaliühtlustusvõrguga;
- 4) vajadusel ette näha ruumiline ekraan koos juhustike õige paigalduse ja ekraaneerimisega;
- 5) tuleb kindlaks määrata nõuded koordineeritud liigpingekaitseseadmete süsteemile;
- 6) tuleb kindlaks teha isoleeritud sisendite kasutamise sobivus.

Maandus ja potentsiaaliühtlustus on alati vajalikud. Ülejäänud kaitsemeetmeid võib rakendada kas eraldi või omavahel kombineeritult.

3. PIKSEKAITSESÜSTEEMI KORRASHOID

3.1. Piksekaitsesüsteemi kontroll

Piksekaitsesüsteemi projektiga peab olema kindlaks määratud kontrolli ja hoolduse vajalik perioodsus. Kontrolli ja hoolduse kavad, mis peavad olema omavahel kooskõlastatud, kehtestavad vastavad riigiametid või -asutused ning piksekaitse projekteerija või paigaldaja koostöös ehitise omaniku või tema esindajaga. Piksekaitsesüsteemi kontrolli teostab vastavat kvalifikatsiooni omav spetsialist kooskõlas standardi EVS-EN 62305-3 piksekaitsesüsteemi hooldust ja kontrolli käsitleva jaotise E.7 soovitustega. [3]

Seadme ohutuse seaduse [11] kohaselt on mistahes elektripaigaldise kontrolli ehk auditi läbiviimise õigus üksnes sellisel isikul, kes omab vastavat akrediteeringut. Eesti Vabariigis on riiklikuks akrediteerimisasutuseks Eesti Akrediteerimiskeskus.

Kontrolli teostamisel tuleb auditeerijale esitada kogu piksekaitsesüsteemi dokumentatsioon – piksekaitsesüsteemi projekti materjalid, mis sisaldavad vajalikke piksekaitsesüsteemi dokumente, nagu projekteerimistingimused, projekti kirjeldus ja tehnilised joonised. Samuti tuleb esitada piksekaitsesüsteemis teostatud mõõtmiste tulemused ning eelnevate hoolduste ja kontrollimiste aktid. [3]

Standardi EVS-EN 62305-3 jaotise E.7.1 kohaselt tuleb kogu piksekaitsesüsteemi kontrollida järgmistel juhtudel:

- 1) piksekaitsesüsteemi paigaldamise käigus, eriti nende komponentide paigaldamise ajal, mis on ehitises varjatud ja millele hiljem ligi ei pääse;
- 2) pärast piksekaitsesüsteemi paigaldamise lõpetamist;
- 3) regulaarselt tabeli 3.1 kohaselt (kui pädevad ametkonnad pole kehtestanud erinõudeid);
- 4) iga kord, kui kaitstavas ehitises on tehtud mingi oluline muudatus või remont, ning pärast iga teadaolevat välgulööki ehitise piksekaitsesüsteemi.

Tabel 3.1. Piksekaitsesüsteemi kontrollimiste suurim vahemik [3]

Kaitsetase	Visuaalne kontroll aastad	Täielik kontroll aastad	Kriitilised juhtumid ^{a b} täielik kontroll aastad
I ja II	1	2	1
III ja IV	2	4	1
a Piksekaitsesüsteeme, mida kasutatakse ehitistes, kus oht tuleneb plahvatusohtlikest materjalidest, peab visuaalselt kontrollima iga 6 kuu tagant. Paigaldise elektrilised katsetused tuleb teha kord aastas. Iga-aastase katsetamise programmi vastuvõetavaks erandiks võib olla katsete sooritamise 14- kuni 15-kuuliste vahemikega, kui seda loetakse eelistatuks seetõttu, et nii mõõdetakse maandustakistust erinevatel aastaagadel ning saadakse infot selle sesoonsete muutuste kohta.			
b Kriitiliste juhtumite hulka võivad kuuluda tundlike sisesüsteemidega ehitised, kontorihooned, kaubandusettevõtted või kohad, kus viibib suur hulk inimesi.			

Visuaalselt peab piksekaitsesüsteemi kontrollima vähemalt kord aastas. Mõnedes piirkondades, kus esinevad suured ilmastiku muutused ja ekstreemsed tingimused, on otstarbekohane piksekaitsesüsteemi visuaalselt kontrollida sagedamini, kui on märgitud tabelis 3.1.

Piksekaitsesüsteemi kontrollimiste vahemik tuleb kindlaks määrata, lähtudes järgmistest asjaoludest [3]:

- 1) kaitstava ehitise klassifikatsioon, eriti pannes tähele vigastumisest tulenevaid mõjutusi;
- 2) piksekaitsesüsteemi klass;
- 3) kohalik keskkond, näiteks korrosiooni soodustav keskkond, nõuab lühikesi vahemikke kontrollimiste vahel;
- 4) piksekaitsesüsteemi komponentide materjalid;
- 5) pinna iseloom, millele piksekaitsesüsteemi komponendid on kinnitatud;
- 6) pinnase tingimused ja sellega seonduv korrosioonioht.

Täielik kontroll ja katsetus tuleb teha iga kahe kuni nelja aasta tagant. Kriitilistes keskkonnatingimustes paiknevatele süsteemidele, näiteks piksekaitsesüsteemi suurtele mehaanilistele koormustele alluvatele osadele, nagu painduvad ühenduslindid tugevatele tuultele avatud piirkonnas, liigpingekaitseadmed torudel, kaablite potentsiaaliühtlustus väljaspool ehitist jne, tuleb teha täielik kontroll igal aastal. [3]

Piksekaitsesüsteemi kontrolli eesmärgiks on veenduda, et piksekaitsesüsteem vastab igas suhtes kehtivale standardile. Kontrolliprotseduur hõlmab tehnilise dokumentatsiooni

kontrolli, visuaalset kontrolli, katsetusi ja kontrolli akti koostamist. Tehnilise dokumentatsiooni juures tuleb kontrollida selle kompleksust, vastavust kehtivale standardile ja vastavust kontrollitavale objektile.

Visuaalse kontrolli eesmärk on kindlaks teha, kas [3]:

- 1) tehniline lahendus vastab kehtivale standardile,
- 2) piksekaitsesüsteem on heas seisukorras,
- 3) piksekaitsesüsteemi juhtidel ja klemmidel ei ole lahtitunud ühendusi ega juhuslikke murdumisi,
- 4) ükski süsteemi osa ei ole korrosiooni tõttu nõrgestatud, eriti maapinna tasemel,
- 5) kõik nähtavad maaühendused on kahjustamata (funktsionaalselt töökorras),
- 6) kõik nähtavad juhid ja süsteemi komponendid on kinnitatud paigalduspindadele ning kõik komponendid, mis tagavad mehaanilise kaitse, on kahjustamata (funktsionaalselt töökorras) ja paiknevad õiges kohas,
- 7) kaitstaval ehitisel ei ole mingeid täiendusi ega muudatusi, mis võivad nõuda täiendavat kaitset,
- 8) piksekaitsesüsteemil ja liigpingekaitseadmetel ei ole vigastumise märke ega liigpingekaitseadmeid kaitsvatel sulavkaitsmetel mingeid rikkeid,
- 9) korrektne potentsiaaliühtlustus on tehtud igale uuele, pärast eelmist kontrollimist sissetoodud tehnovõrgule ja ehitise sees tehtud täiendusele ning nendele uutele täiendustele on tehtud katkematus katsed,
- 10) hoones olevad potentsiaaliühtlustusjuhid ja -ühendused on olemas ja kahjustamata (funktsionaalselt töökorras),
- 11) on kinni peetud nõutavatest eraldusvahemikest, potentsiaaliühtlustusjuhid, -klemmid, ekraneerimisseadmed, kaablitassid ja liigpingekaitseadmed on kontrollitud ja katsetatud.

Piksekaitsesüsteemi kontrollimine ja katsetamine sisaldab visuaalset vaatlust ja peab lõppema järgmiste toimingutega [3]:

- 1) katkematus katsed, eriti piksekaitsesüsteemi nende osade katkematus, mis ei olnud kontrollimiseks nähtavad algse paigaldamise käigus, ega ole ka hilisemal visuaalsel kontrollil kättesaadavad;
- 2) maandurite süsteemi maandustakistuse katsed.

Tehnilise kontrolli aluseks olevaid mõõtmisi võib teha akrediteeritud või mõõteseaduse kohaselt erialaselt pädevaks hinnatud labor, mis on majandustegevuse registris mõõte- ja teimilaborina registreeritud. Muid mõõtmisi tehnilise kontrolli käigus arvestada ei saa. [5]

Teha tuleb järgmised maanduse üksik- ja kombineeritud mõõtmised ja kontrollid ning tulemused peavad olema kajastatud piksekaitsesüsteemi kontrolli aktis [3]:

- 1) iga üksiku maanduri maandustakistus ja seal, kus see on põhjendatult otstarbekohane, ka kogu maandurite süsteemi maandustakistus;
- 2) kõikide juhtide, ühenduste ja klemmide visuaalse kontrolli või elektrilise katkematus mõõtmise tulemused.

Kõik üksikud maandurid tuleb mõõta eraldi, kusjuures allaviigu ja maanduri vaheline katsetusliitmik on avatud asendis (üksikmõõtmine). Iga nii vertikaalseid maandusvardaid ja osalist või täielikku kontuurmaandurit sisaldava võrgu puhul tuleb lahti ühendamine ja mõõtmine teha maanduse kontrollpunktis. Kui mõõtmistel ilmneb, et maandurite süsteem ei vasta nõuetele või nõuetele vastavuse kontrollimine ei ole puuduva informatsiooni tõttu võimalik, tuleb maandurite süsteemi täiustada lisamaandurite paigaldamisega või paigaldada uus maandurite süsteem. [3]

Liigpingekaitseseadmeid, millel puudub visuaalne näidik, tuleb kontrollida, kasutades selleks eeskätt tootjalt saadud juhendeid. [3]

3.2. Piksekaitsesüsteemi hooldus

Piksekaitsesüsteemi peab hooldama regulaarselt selleks, et ta ei rikneks, vaid täidaks jätkuvalt neid nõudeid, milleks ta oli algselt projekteeritud. Piksekaitsesüsteemi hooldusprogramm peab tagama piksekaitsesüsteemi pideva uuendamise, et see oleks kooskõlas standardi EVS-EN 62305-3 kehtiva väljaandega.

Piksekaitsesüsteemi komponentidel on tendents kaotada aastatega oma efektiivsust, seda korrosiooni ning ilmastiku, mehaaniliste jõudude ja välgulöökidest põhjustatud vigastuste tõttu. Piksekaitsesüsteemi hooldus on tähtis, vaatamata sellele, et piksekaitsesüsteemi

projekteerija on, lisaks standardi EVS-EN 62305-3 nõuetele, rakendanud korrosiooni kaitseks erilisi ettevaatusabinõusid ja dimensioneerinud piksekaitsesüsteemi komponendid vastavuses neid mõjutava välgu võimalikele purustustele ja ilmastikuoludele. [3]

Selleks, et piksekaitsesüsteem vastaks eelnimetatud standardi projekteerimisnõuetele, peavad piksekaitsesüsteemi mehaanilised ja elektrilised parameetrid säilima kogu tema eluea jooksul. Piksekaitsesüsteemi modifitseerimine võib osutuda vajalikuks, kui kaitstavat hoonet või tema sisseaset on modifitseeritud või kui muutub ehitise kasutamise eesmärk. Kui kontrollimise tulemusena selgub, et remont on vajalik, tuleb need remonttööd teha viivitamatult ja mitte oodata järgmist plaanilist hooldust. [3]

Kõikidele piksekaitsesüsteemidele peavad olema kehtestatud perioodilise hoolduse programmid, millega sätestatud hooldetööde sagedus sõltub järgnevatest asjaoludest:

- 1) ilmastikust ja keskkonnast tingitud seisukorra halvenemine;
- 2) tegelike välgu põhjustatud vigastuste esinemine;
- 3) ehitisele omistatud kaitsetase.

Iga üksiku piksekaitsesüsteemi jaoks tuleb kehtestada selle piksekaitsesüsteemi hoolduse protseduurid ja need peavad saama ehitise üldise hooldusprogrammi osaks. Hooldusprogramm peab sisaldama loetelu plaanikohastest protseduuridest selliselt, et ta oleks kasutatav kontrollnimekirjana ja et teatud hooldusprotseduure tehtaks reeglipäraselt nii, et oleks võimalik võrrelda praegusi ja eelmisi tulemusi. [3]

Hooldusprogramm peab sisaldama sätteid järgmisteks töödeks [3]:

- 1) piksekaitsesüsteemi kõigi juhtide ja komponentide kontroll;
- 2) piksekaitsesüsteemi elektrilise katkematuse kontroll;
- 3) maandurite süsteemi maandustakistuse mõõtmine;
- 4) liigpingekaitseadmete kontroll;
- 5) komponentide ja juhtide kinnituste järelpingutamine;
- 6) kontrollimine veendumaks, et piksekaitsesüsteemi efektiivsus ei ole pärast ehitise või ehitises paikneva seadmestiku laiendamist või muutmist vähenenud.

Kõikide hooldusprotseduuride ja tehtud või nõutud parandustööde täielikud kirjeldused tuleb säilitada.

3.3. Kontrolli ja hooldustoimingute dokumenteerimine

Piksekaitsesüsteemi kontrolli hõlbustamiseks tuleb ette valmistada piksekaitsesüsteemi kontrolli juhend, mis peab sisaldama küllaldast teavet, et ohjata kontrollijat kontrollimise protsessis nii, et kõik tähtsad asjaolud, nagu näiteks piksekaitsesüsteemi paigaldamise meetod, piksekaitsesüsteemi komponentide tüüp ja seisukord, katsemeetodid, oleks dokumenteeritud ja saadud katsetulemused sobivalt protokollitud. [3]

Piksekaitsesüsteemi auditeerija peab väljastama kontrolli akti, mis tuleb säilitada koos piksekaitsesüsteemi projekti ja eelnevate hoolduse ja kontrolli aktidega.

Standardi EVS-EN 62305-3 kohane piksekaitsesüsteemi kontrolli akt peab sisaldama järgmist informatsiooni:

- 1) välgupüüdurjuhtide ja teiste välgupüüduri komponentide üldine seisukord;
- 2) üldine korrosioonitase ja korrosioonikaitse olukord;
- 3) piksekaitsesüsteemi juhtide ja komponentide kinnituste turvalisus;
- 4) maandurite süsteemi maandustakistuse mõõtmised;
- 5) mis tahes kõrvalekalded standardi EVS-EN 62305-3 nõuetest;
- 6) piksekaitsesüsteemi kõikide muudatuste ja laienduste dokumentatsioon ning ehitise mis tahes muudatused, lisaks piksekaitsesüsteemi konstruktsiooni joonised ja ülevaade piksekaitsesüsteemi projekti kirjeldusest;
- 7) tehtud katsete tulemused.

Ka piksekaitsesüsteemi korraliste hoolduste teostamine tuleb dokumenteerida. Hooldeprotseduuride kirjeldus peab sisaldama piisvat teavet piksekaitsesüsteemi komponentide ja paigaldiste hindamiseks ning olema aluseks, mille põhjal hooldusprotseduure kritiseerida ja ühtlasi ka hooldusprogrammi uuendada. Hoolduse dokumentatsioon tuleb samuti säilitada koos piksekaitsesüsteemi projekti ja kontrolli aktidega.

Põhjaliku piksekaitse kontrolli akti näidise leiab Päästeameti poolt välja antud teabematerjalist „Piksekaitsesüsteemi kontrolli juhendmaterjal“. Akti näidis on esitatud töö lisas 7.

KOKKUVÕTE

Käesolev bakalaureusetöö annab ülevaate hetkel kehtivatest piksekaitset käsitlevatest standarditest ja määrustest ning piksekaitsesüsteemis kasutatavatest seadmetest ning nende nõuetekohasest paigaldamisest.

Töö esimeses osas tutvustatakse piksekaitset käsitlevaid Euroopa standardeid ja kohalikke normatiivakte, mis on aluseks piksekaitse vajaduse väljaselgitamisel, kaitsemeetmete hindamisel ja piksekaitsesüsteemi paigaldamisel. Antakse ülevaade piksekaitsemeetmete vajaduse ja ulatuse määramisest, meetmete valiku ja hindamise protseduuridest ning piksekaitsesüsteemi projekteerimise üldpõhimõtetest. Töö teises osas kirjeldatakse piksekaitsesüsteemi komponente ning nende paigaldamist. Töö kolmandas osas antakse juhised piksekaitsesüsteemi kontrollimisest ja hooldamisest, et oleks tagatud piksekaitsemeetmete toimimine terve nende aluea jooksul.

Antud tööd koostades on jõutud järgmistele järeldustele:

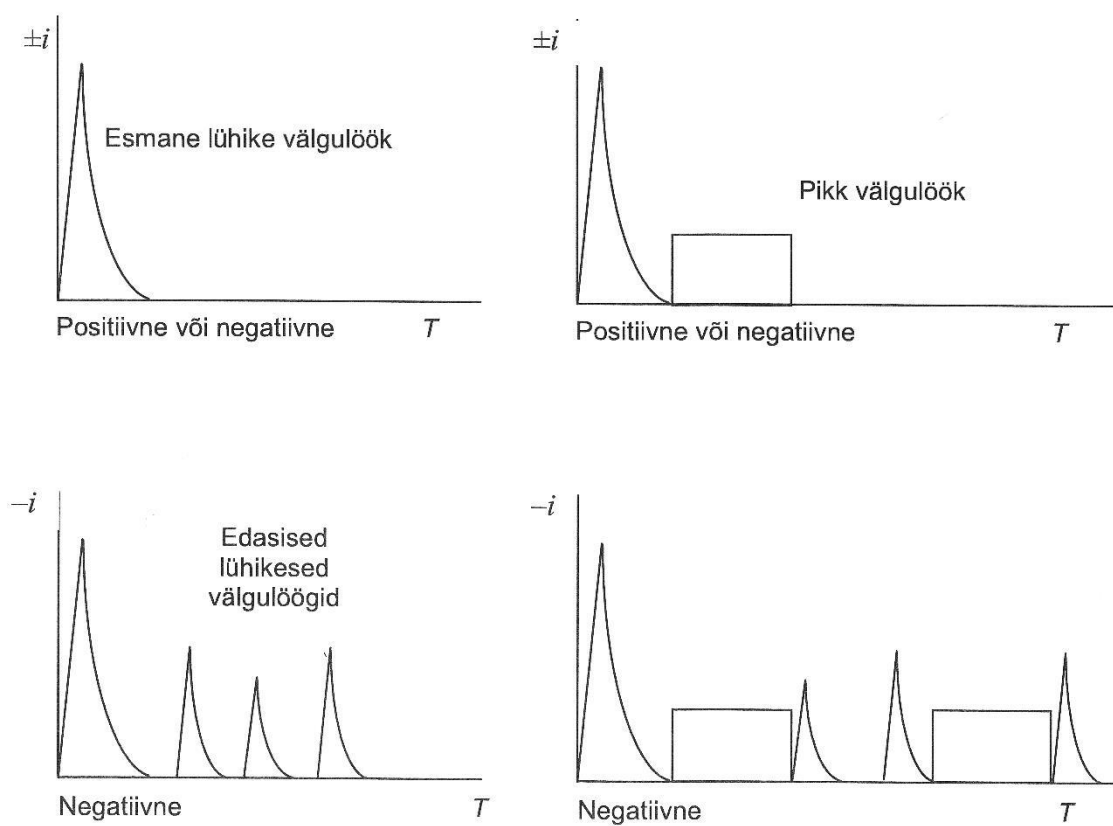
- 1) riskianalüüsi läbiviimine ning elektri- ja elektroonikasüsteemide kaitse nõuab põhjalikumalt käsitlemist, kui bakalaureusetöö maht seda võimaldab;
- 2) 2017. aastal välja antud piksekaitse paigaldamise kohustusega hooneid sätestav määrus „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele“ on viidud kooskõlla kehtiva standardiga ning lisaks hoonetele, mis kaitsmist nõuavad, on sätestatud ka nõutavad piksekaitseklassid;
- 3) Päästeameti piksekaitsesüsteemi kontrolli juhendmaterjal on välja antud aastal 2015 ja vajaks täiendamist, et see oleks kooskõlas punktis 2 nimetatud määrusega;
- 4) EETEL-Ekspert OÜ poolt 2016. aastal välja antud teaberaamatus „Ehitiste piksekaitse“ on viga – riskianalüüsi puudutavas peatükis on puudu osariskide määratlus, mis ilma standardit EVS-EN 62305-2 tundmata moonutab ettekujutust riskianalüüsi protsessist;
- 5) praktikas on näha, et elektripaigaldiste projekteerijatel on vajadus lihtsasti mõistetavast eestikeelsest piksekaitse projekteerimise juhendmaterjalist.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. EVS-EN 62305-1:2011 Piksekaitse. Osa 1: Üldpõhimõtted, 66 lk.
2. EVS-EN 62305-2:2013 Piksekaitse. Osa 2: Riskianalüüs, 90 lk.
3. EVS-EN 62305-3:2011 Piksekaitse. Osa 3: Ehitistele tekitatavad füüsikalised kahjustused ja oht elule, 148 lk.
4. EVS-EN 62305-4:2011 Piksekaitse. Osa 4: Ehitiste elektri- ja elektroonikasüsteemid, 88 lk.
5. Metusala, T. Ehitiste piksekaitse. Elektripaigaldised. Teaberaamat 14. EETEL-Ekspert OÜ, Tallinn 2016, 139 lk.
6. Metusala, T. (2013). Piksekaitseklassid ja piksekaitset reguleerivad määrused meil ja mujal 2. – *Elektriala*. 6/2013, lk 26-27.
7. Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele. (vastu võetud 30.03.2017). – *Riigi Teataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/104042017014> (18.04.2018)
8. Siseministri määruse „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele“ eelnõu seletuskiri (07.07.2016). – *Eelnõude infosüsteem (EIS)*
9. OBO Construct TBS. OBO Bettermann GmbH & Co.KG.
<https://www.obo-construct-tbs.com/et/startseite.html> (03.05.2018)
10. DEHNsupport Toolbox. DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG.
<http://www.dehn-international.com/en/dehnsupport-toolbox> (03.05.2018)
11. Seadme ohutuse seadus. (vastu võetud 18.02.2015). – *Riigi Teataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/123032015004> (20.04.2018)
12. Piksekaitsesüsteemi kontrolli juhendmaterjal. (2015). – *Päästeamet*
<https://www.rescue.ee/dotAsset/c7770915-fbed-4f18-a9e9-e3aa2b3991a7.pdf> (25.04.2018)

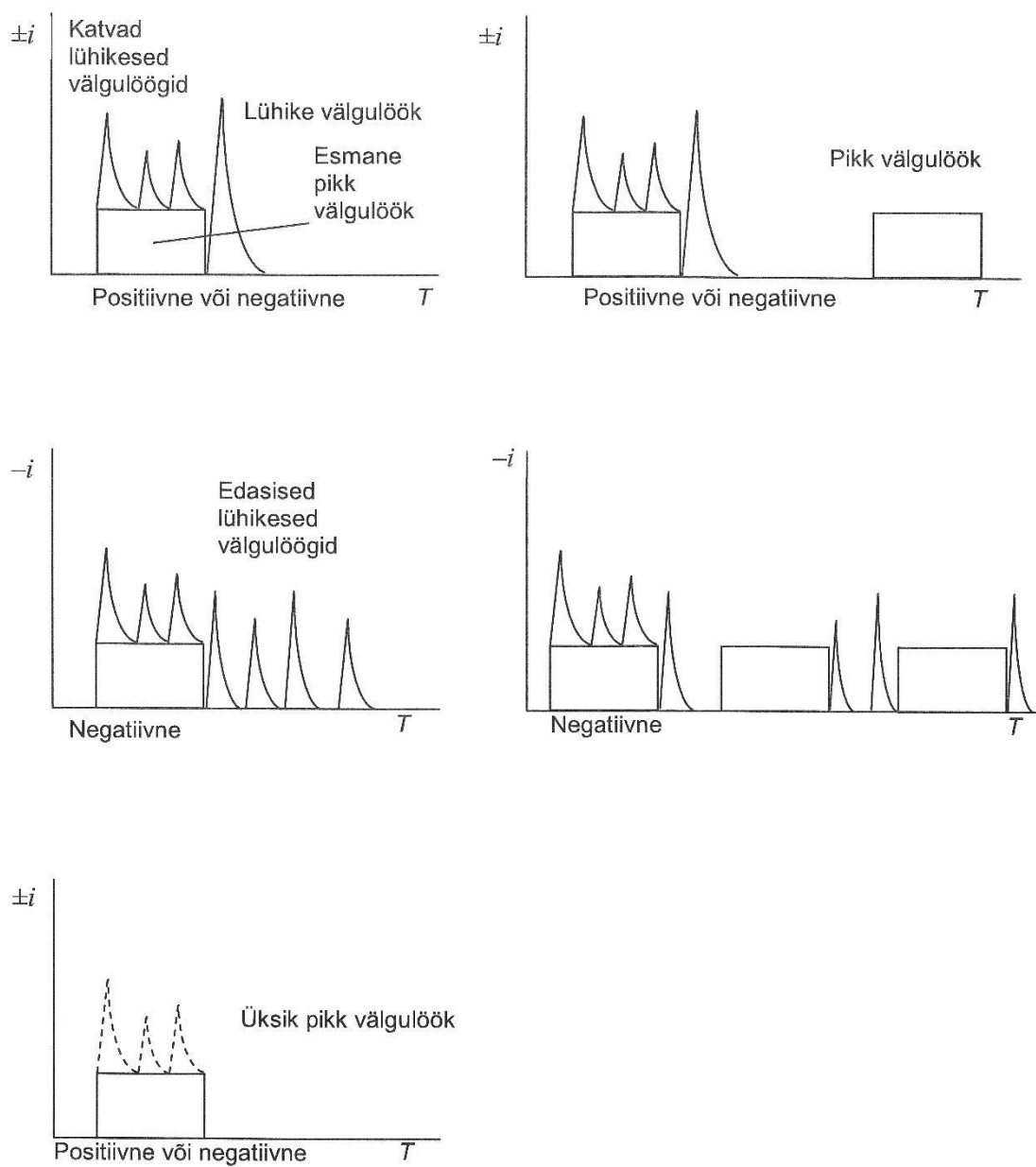
LISAD

Lisa 1. Allasuunatud valgü võimalikud komponendid



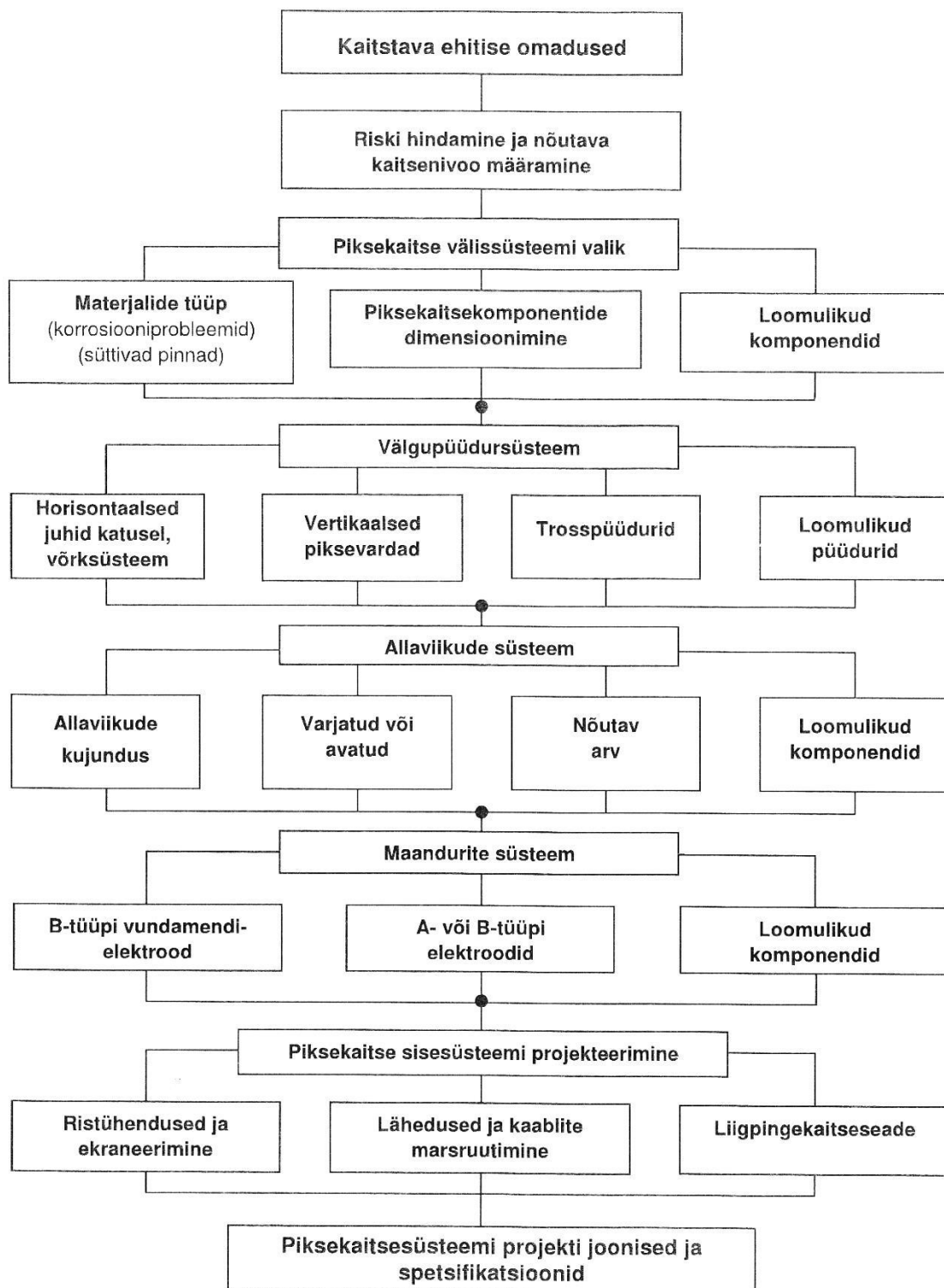
Lisa 1. Joonis 1. Allasuunatud valgü võimalikud komponendid [1].

Lisa 2. Ülessuunatud valgü võimalikud komponendid



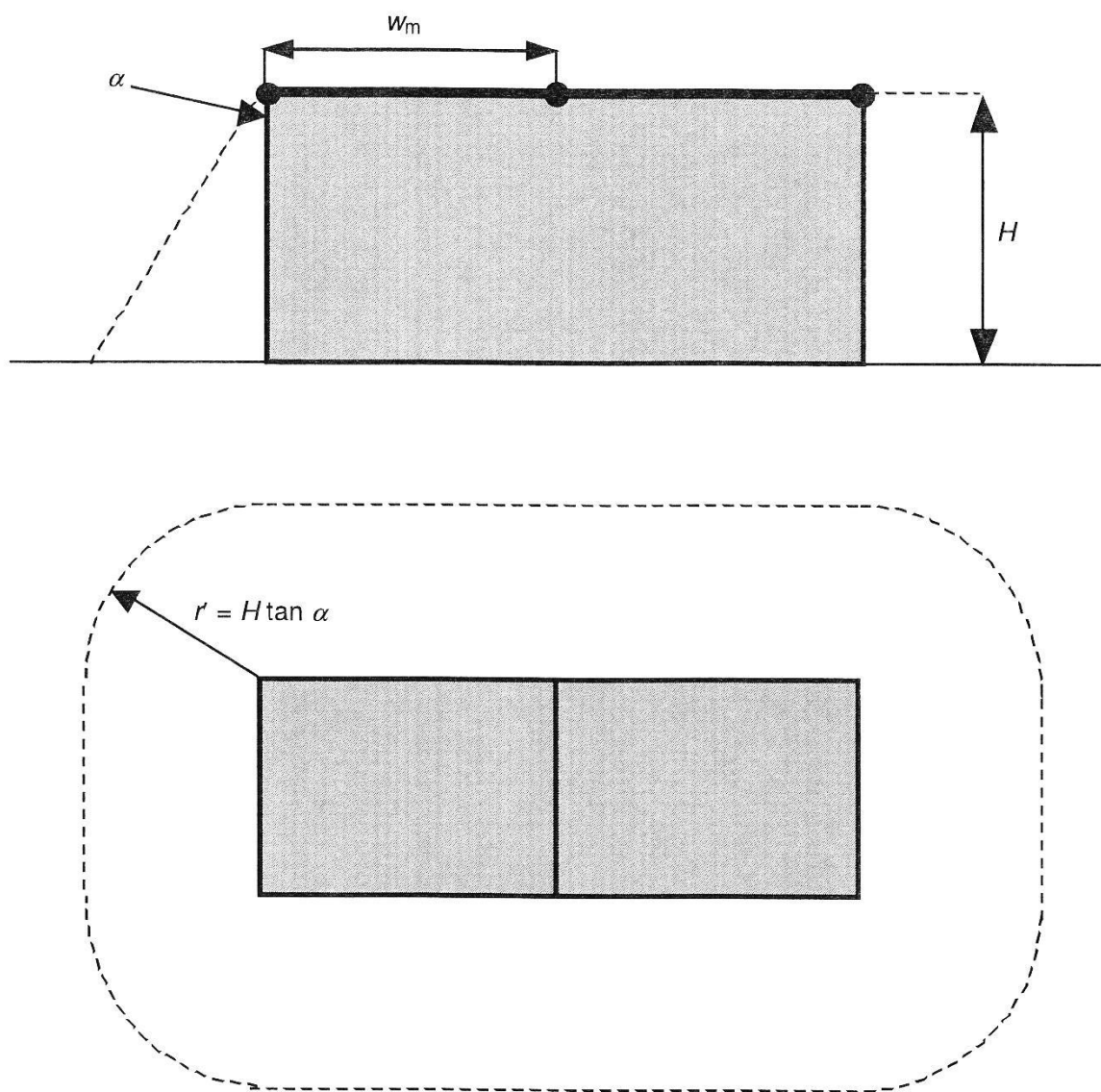
Lisa 2. Joonis 1. Ülessuunatud valgü võimalikud komponendid [1].

Lisa 3. Piksekaitsesüsteemi projekteerimise plokk skeem



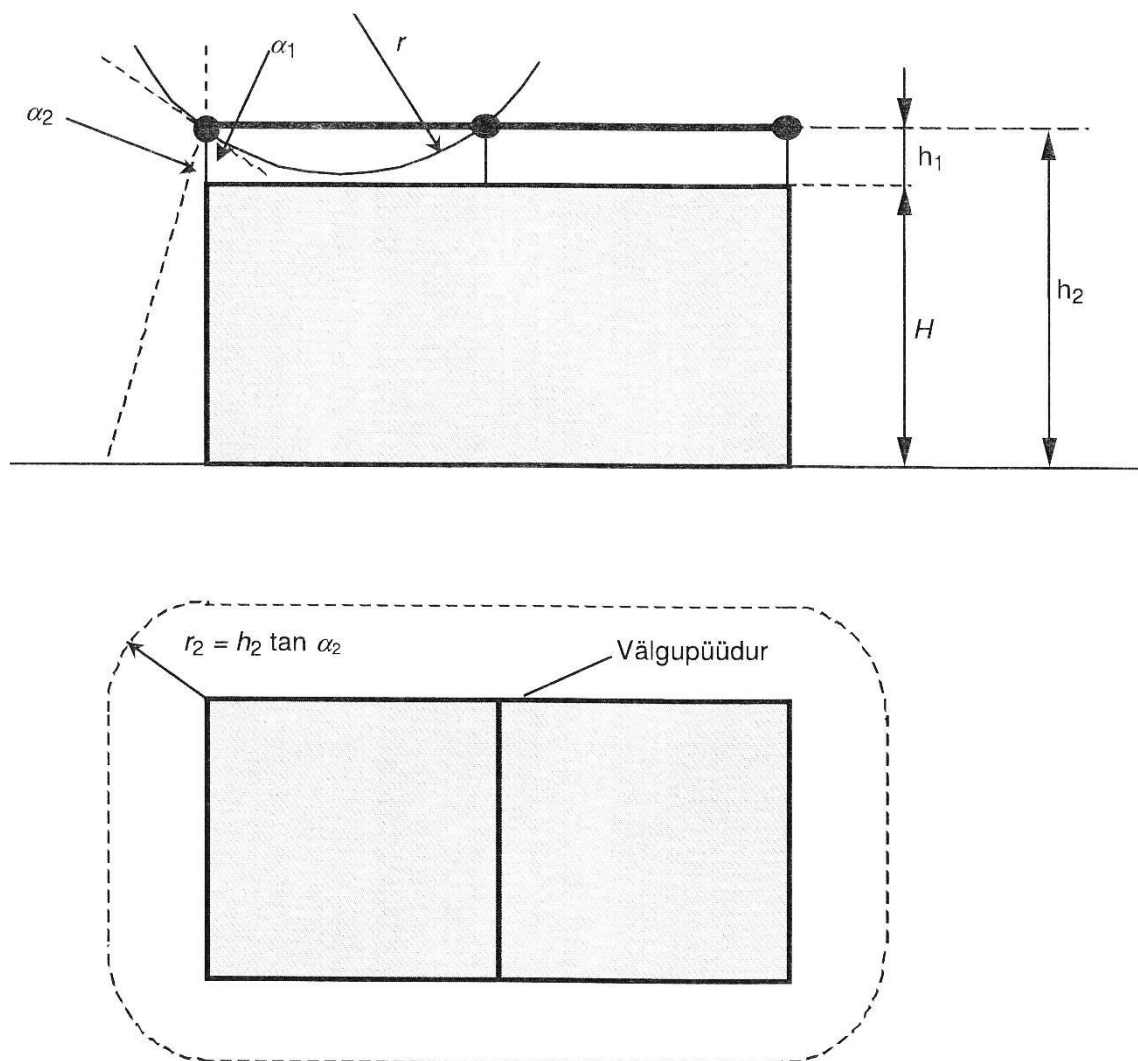
Lisa 3. Joonis 1. Piksekaitsesüsteemi projekteerimise plokk skeem [3]. Skeemi liitekohtades • nõutakse arhitekti, inseneri ja piksekaitse projekteerija täielikku koostööd.

Lisa 4. Eraldamata juhtidest moodustatud võrgu kaitsetsoon



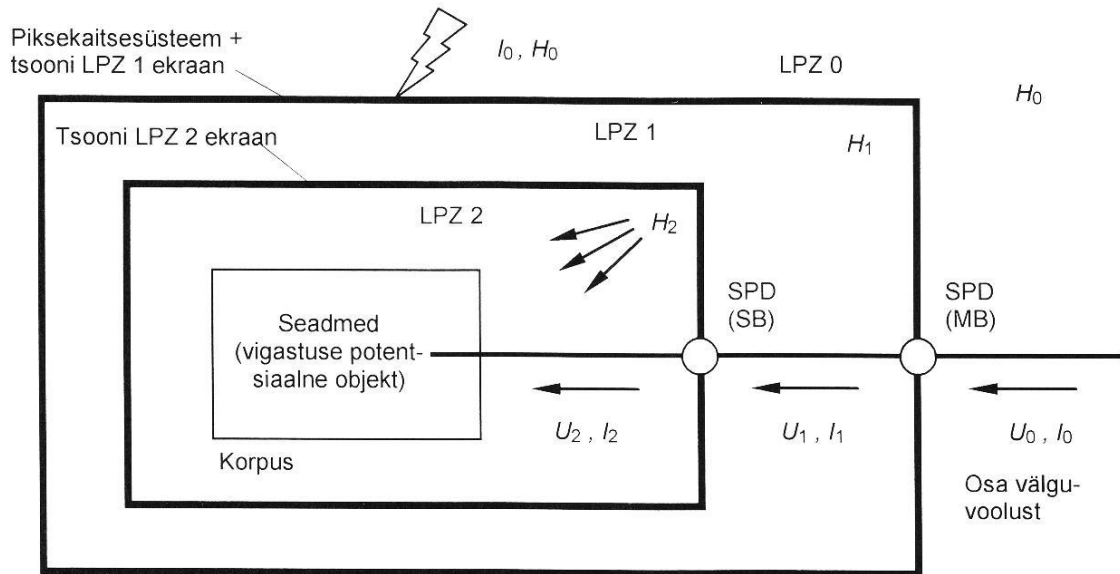
Lisa 4. Joonis 1. Eraldamata juhtidest moodustatud võrgu kaitsetsoon võrgumeetodil ja kaitsenurga meetodil [3]. w_m – piksekaitseklassile vastav valgupüüdurvõrgu silm (leitav tabelist 2.2), α – piksekaitseklassile vastav kaitsenurk (leitav tabelist 2.2)

Lisa 5. Eraldatud juhtidest moodustatud võrgu kaitsetsoon

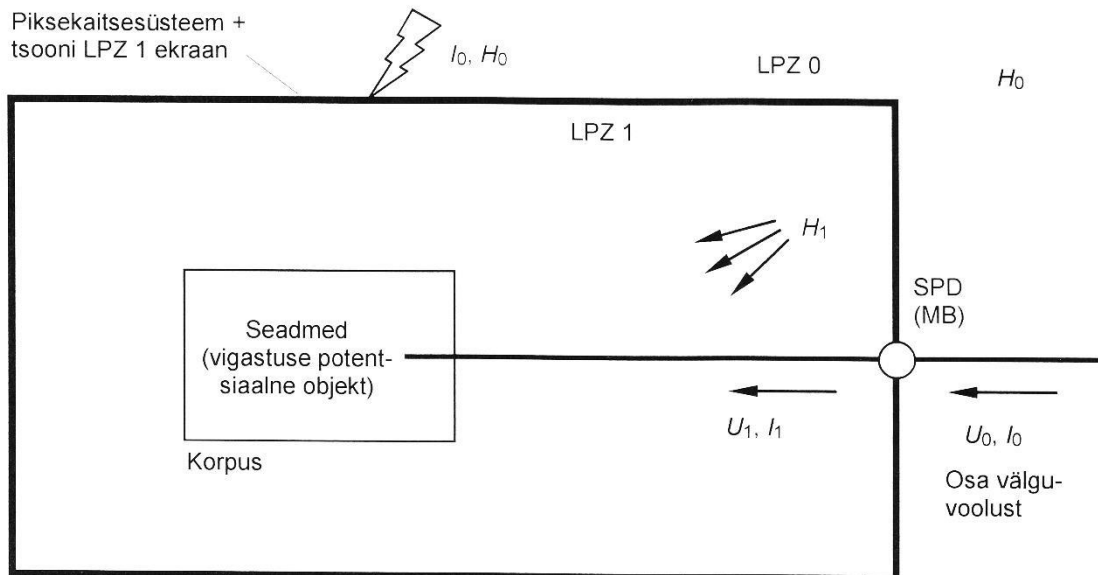


Lisa 5. Joonis 1. Eraldatud juhtidest moodustatud võrgu kaitsetsoon kaitsenurga meetodi ja veereva sfääri meetodi alusel [3]. r – piksekaitseklassile vastav veereva sfääri raadius (leitav tabelist 2.2), α_1 – kaitsenurk kaitstava katusepinna suhtes (leitav tabelist 2.2), α_2 – kaitsenurk maapinna suhtes (leitav tabelist 2.2)

Lisa 6. Välgu elektromagnetilise impulsi kaitsemeetmed

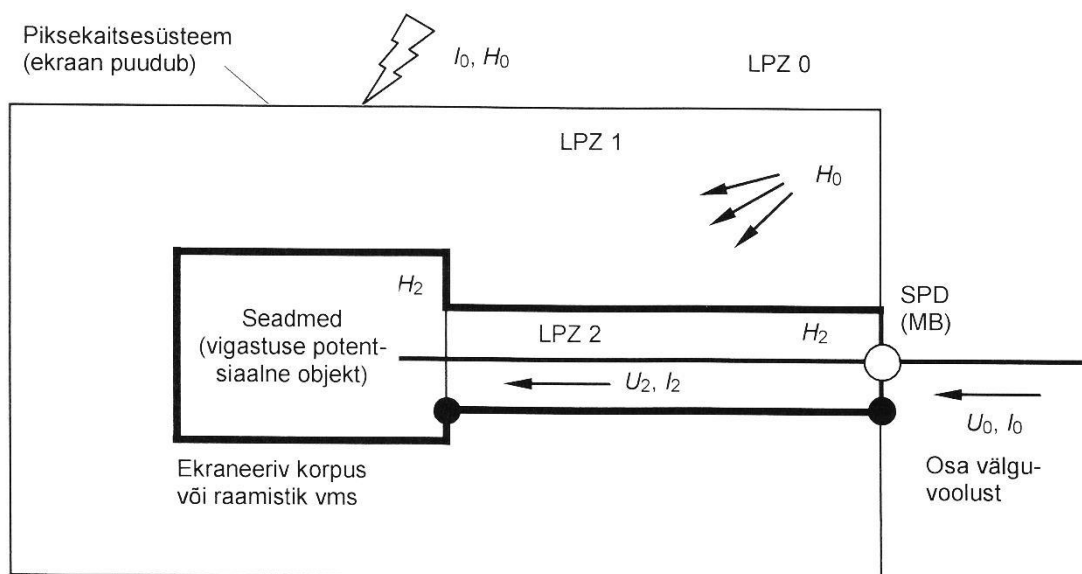


Lisa 6. Joonis 1. Välgu elektromagnetilise impulsi kaitsemeetmed (SPM), kus kasutatakse ruumilisi ekraane ja koordineeritud liigpingekaitseseadmete (SPD) süsteemi. Seadmed on hästi kaitstud juhtivuslike impulsside ($U_2 \ll U_0$ ja $I_2 \ll I_0$) ning kiirguslike magnetväljade eest ($H_2 \ll H_0$) [4].

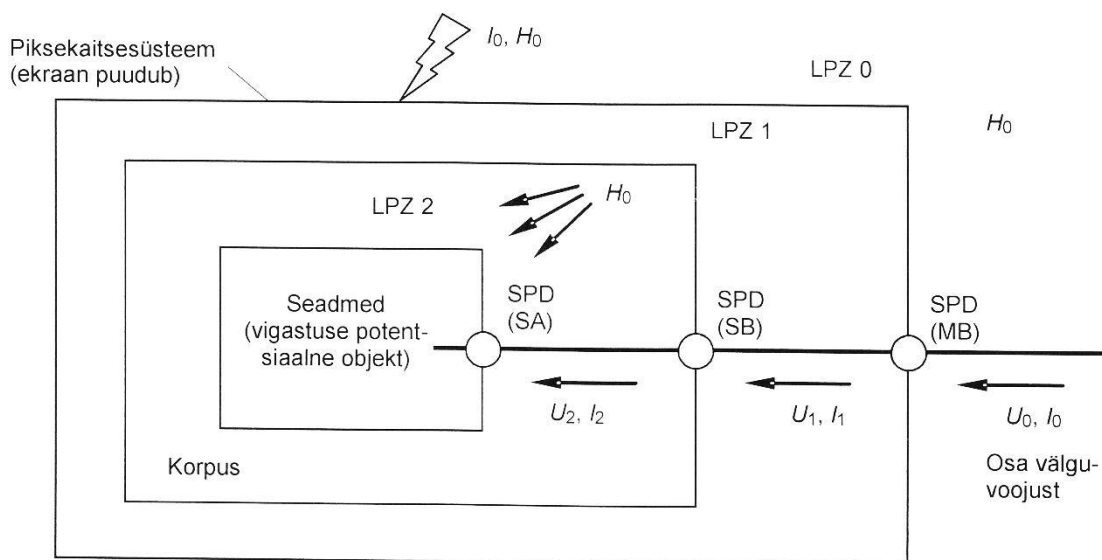


Lisa 6. Joonis 2. Välgu elektromagnetilise impulsi kaitsemeetmed (SPM), kus tsooni LPZ 1 kaitseks kasutatakse ruumilist ekraani ja tsooni LPZ 1 sisenemisel liigpingekaitseaset (SPD). Seadmed on hästi kaitstud juhtivuslike impulsside ($U_1 < U_0$ ja $I_1 < I_0$) ning kiirguslike magnetväljade eest ($H_1 < H_0$) [4].

Lisa 6 järg



Lisa 6. Joonis 3. Välgu elektromagnetilise impulsi kaitsemeetmed (SPM), kus kasutatakse sisejuhistiku ekraaneerimist ja tsooni LPZ 1 sisenemisel liigpingekaitseadet (SPD). Seadmed on hästi kaitstud juhtivuslike impulsside ($U_2 < U_0$ ja $I_2 < I_0$) ning kiirguslike magnetväljade eest ($H_2 < H_0$) [4].



Lisa 6. Joonis 4. Välgu elektromagnetilise impulsi kaitsemeetmed (SPM), kus kasutatakse ainult koordineeritud liigpingekaitseadmete (SPD) süsteemi. Seadmed on hästi kaitstud juhtivuslike impulsside ($U_2 \ll U_0$ ja $I_2 \ll I_0$), kuid ei ole kaitstud kiirguslike magnetväljade eest (H_0) [4].

Lisa 7. Piksekaitsesüsteemi kontrolli akt

Kontrolli akt nr: _____

Piksekaitsesüsteemi kontrollimine vastavalt standardisarjale EVS-EN 62305

1. ÜLDINFO

Kontrollitav ehitis

Nimetus: _____
Aadress: _____
Kontaktandmed: _____

Kontrollija

Nimetus: _____
Aadress: _____
Kontaktandmed: _____

Piksekaitsesüsteemi projekteerija

Nimetus: _____
Aadress: _____
Kontaktandmed: _____

Kontrollitava ehitise omanik

Nimi: _____
Aadress: _____
Kontaktandmed: _____

Möödja

Nimetus: _____
Aadress: _____
Kontaktandmed: _____

Piksekaitsesüsteemi paigaldaja

Nimetus: _____
Aadress: _____
Kontaktandmed: _____

2. EHITISE ISELOOMUSTUS

Kasutamistotstarve: _____

Pindala: _____

Katuse kuju: _____

Ehitusaasta: _____

Konstruksioon: _____

Katuse katte- ja alusmaterjal: _____

3. KONTROLI ALUSMATERJALID

Standardid, mille alusel on piksekaitse projekteeritud ja paigaldatud:

Sari EVS-EN 62305, _____

Piksekaitsesüsteemi projekt ja joonised (hinnang ja viited): _____

Piksekaitsesüsteemi kaitseklass: ☐ I ☐ II ☐ III ☐ IV

4. KONTROLI TÜÜP

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Projekti kontroll | <input type="checkbox"/> Paigaldamise käigus |
| <input type="checkbox"/> Visuaalne kontroll | <input type="checkbox"/> Paigaldusjärgne |
| <input type="checkbox"/> Täielik kontroll | <input type="checkbox"/> Korduv (regulaarne) |

5. PIKSEKAITSESÜSTEEMI ÜSIKOSAD

Välgupüüdurid

Kirjeldus (joonise nr):		Kaitsenurk:
Võrgusilma mõõtmed: m x m	Materjal:	Juhtide kinnituspunktide vahelised kaugused:
Kasutatavad loomulikud komponendid (nende materjal ja mõõtmed):		

Allaviigud

Kirjeldus (joonise nr):		Allaviikude arv:
Allaviikude vaheline kaugus:	Materjal, ristlõige:	Katseliitmike olemasolu: <input type="checkbox"/> JAH <input type="checkbox"/> EI
Kinnituspunktide vahelised kaugused:	Kasutatavad loomulikud komponendid (nende materjal ja mõõtmed):	

Lisa 7. Joonis 1. Piksekaitsesüsteemi kontrolli akt, esimene lehekülg [12]

Lisa 7 järg

Kontrolli akt nr: _____

Maandurid

Tüüp: A-tüüp elektroodid: horisontaalsed _____ vertikaalsed _____
B-tüüp vundamendimaandur _____ kontuurmaandur _____

Materjal, kuju, mõõtmised _____

Välgupotentsiaaliühtlustus

Metallpaigaldiste (veetorud, metallkonstruktsioonid jms) ühendamine välgupotentsiaaliühtlustusega:

☐ JAH ☐ EI ühenduskohad _____

Ühendusjuhtide materjal ja ristlõikepindala: _____

Elektritoiteliini(de) ühendamine välgupotentsiaaliühtlustusega:

Juhistiku süsteem: ☐ TN-C ☐ TN-S ☐ TN-C-S _____

Liigpingepiirik(ud): ☐ JAH ☐ EI Tüüp: ☐ Tüüp 1 ☐ Tüüp 1/2

Piiriku(te) paiknemiskoht: _____

Sideliinide potentsiaaliühtlustus

Sideliini tüüp:	Kasutatud juhe (õhuliin, koaksiaalkaabel vm):
Liigpingepiirik(ud): <input type="checkbox"/> JAH <input type="checkbox"/> EI	Piiriku(te) paiknemiskoht:
Tüüp:	

Piksekaitse välissüsteemide elektriisolatsioon

Ohtlik koht (milline ja kus paikneb):

Eraldusvahemik: Vajalik: _____ m Tegelik: _____ m

6. DOKUMENTATSIOONI KONTROLLI TULEMUS

Täielik ja vastab standardile: ☐ JAH ☐ EI _____

7. VISUAALSE KONTROLLI TULEMUSED

Piksekaitse välissüsteem	JAH	EI	Piksekaitse sisesüsteem	JAH	EI
Välgupüüdurite süsteem vastab nõuetele			Ehitises on sisene potentsiaaliühtlustus (PÜ)		
Kogu ehitis paikneb püüdurite kaitsetsoonis			Sisenevad toiteliinid on ühendatud PÜga		
Allaviikude süsteem vastab nõuetele			Toiteliinide piirikud on paigaldatud korrektselt		
Maandurite süsteem vastab nõuetele			Sisenevad sideliinid on ühendatud PÜga		
Komponendid on korrusioonikahjustusteta			Sideliinidele piirikud on paigaldatud korrektselt		
Piksekaitsesüsteem on vigastumise märkideta			Vajalikud eraldusvahemikud on piisavad		
			Liigpingepiirikud on vigastumise märkideta		

8. MÕÕTMISED

Varjatud ühenduste katkematus (soovitav takistuse väärtus alla 1 Ω)	JAH	EI
Välgupüüdurite süsteem on katkematu		
Allaviikude süsteem on katkematu		
Maandussüsteem on katkematu		
Potentsiaaliühtlustussüsteem on katkematu		
Metallpaigaldistes (vee- ja kütetorud jms) pole isoleervahetükke		

Maandustakistuste mõõtmine

Pinnase tüüp: _____ Pinnase olukord: ☐ kuiv ☐ niiske ☐ külmunud

Üksikute maandurite takistuse mõõtmise tulemused

Katseliitmiku nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
R _{Mt} , Ω								

Lisa 7. Joonis 2. Piksekaitsesüsteemi kontrolli akt, teine lehekülg [12]

Lisa 7 järg

Kontrolli akt nr: _____

Kogu maandussüsteemi takistus (soovitav alla 10 Ω)

möödetud ilma kaitsejuhita: ____ Ω	möödetud ühendatud kaitsejuhiga: ____ Ω
Maandustakistuse väärtus vastab nõuetele: <input type="checkbox"/> JAH <input type="checkbox"/> EI	

9. KONTROLI TULEMUS

Piksekaitsesüsteemil vastab nõuetele: ☐ JAH ☐ EI

Avastatud on järgmised puudused ja kõrvalekalded sarjast EVS-EN 62305:

[illegible]

Järgmine kontroll _____ aastal

Omanik on kohustatud

- viivitamatult likvideerima puudused;
- teatama kontrollijale ehitist tabanud välgulöögist;
- vajadusel hoolitsemise sisesüsteemide liigpingekaitse eest;
- rakendama meetmeid, kui kaitstaval ehitisel on tehtud muudatusi või täiendusi, mis võivad nõuda täiendavat kaitset.

Kontrollija:

Nimi: _____
Asutus: _____
Kuupäev: _____
Allkiri: _____

LIHTLITSENTS

Mina, __Allar Erman_____,
(*autori nimi*)
sünniaeg __12.06.1979_____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

__Piksekaitse projekteerimise nõuded ja seadmed_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on __Erkki Jõgi, MSc_____,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, __29.05.2018_____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)

(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)
